



PROYECTO FIN DE CARRERA PLAN 2000

E.U.I.T. TELECOMUNICACIÓN

TEMA: DISEÑO DE INSTALACIONES Y EQUIPAMIENTO DE COMUNICACIÓN

TÍTULO: SISTEMA DE COMUNICACIONES PARA UNA PLANTA FOTOVOLTAICA

AUTOR: JOSÉ MANUEL MARTÍN ARAGÓN

TUTOR: PEDRO GARCÍA DEL PINO

Vº Bº.

DEPARTAMENTO: DIAC

Miembros del Tribunal Calificador:

PRESIDENTE: JAVIER MALAGÓN HERNÁNDEZ

VOCAL: PEDRO GARCÍA DEL PINO

VOCAL SECRETARIO: ENRIQUE RENDÓN ANGULO

DIRECTOR:

Fecha de lectura: 28 - 09 - 2012

Calificación:

El Secretario,

RESUMEN DEL PROYECTO:

Las plantas solares fotovoltaicas, que son cada vez más habituales en nuestra sociedad, necesitan contar con un sistema de comunicaciones que permita la monitorización continua del funcionamiento de los diferentes equipos así como el control remoto de los mismos y la regulación de la producción. En este Proyecto se ha estudiado la estructura eléctrica y constructiva de una planta fotovoltaica genérica, prestando especial atención a los requerimientos que debe reunir el sistema de comunicaciones. El diseño del sistema de comunicaciones se ha realizado sobre una planta solar ficticia aún sin construir analizando su estructura sobre plano y aproximando la topología de red que se necesita implementar. Partiendo de esta estructura y de las cualidades de este tipo de instalaciones se ha realizado un análisis de las tecnologías disponibles, optando por una solución inalámbrica mixta, utilizando enlaces WiMAX y WiFi, manteniendo tecnología cableada únicamente para interconexión cercana de equipos. Esta elección se ha realizado con la intención de dotar a la planta de un sistema fiable, robusto y flexible sin descuidar el factor económico; para eso se ha cuidado la selección de equipamiento, su disposición en la planta y su configuración básica de funcionamiento. A partir de la solución definitiva se ha obtenido un presupuesto económico de la instalación. Se ha completado el diseño mediante simulaciones radioeléctricas, para asegurar un correcto funcionamiento de los diferentes enlaces.



PROYECTO FIN DE CARRERA PLAN 2000

E.U.I.T. TELECOMUNICACIÓN

TEMA: DISEÑO DE INSTALACIONES Y EQUIPAMIENTO DE COMUNICACIÓN

TÍTULO: SISTEMA DE COMUNICACIONES PARA UNA PLANTA FOTOVOLTAICA

AUTOR: JOSÉ MANUEL MARTÍN ARAGÓN

TUTOR: PEDRO GARCÍA DEL PINO

Vº Bº.

DEPARTAMENTO: DIAC

Miembros del Tribunal Calificador:

PRESIDENTE: JAVIER MALAGÓN HERNÁNDEZ

VOCAL: PEDRO GARCÍA DEL PINO

VOCAL SECRETARIO: ENRIQUE RENDÓN ANGULO

DIRECTOR:

Fecha de lectura: 28 - 09 - 2012

Calificación:

El Secretario,

RESUMEN DEL PROYECTO:

The photovoltaic solar power plants, which are becoming more common in our society, need a communications system that allowing continuous monitoring of the operation of the different devices as well as their remote control and regulation of the production.

In this Project, electrical structure and construction of a generic photovoltaic solar plant have been studied, paying special attention to the essential requirements which must be fulfilled by the communication system. The communication system design is was carried out assuming that photovoltaic solar plant is fictitious and before its construction, analysing its structure over site plan and approximating the net topology in order to implement it.

The analysis of the available technologies was performed basing on this structure as well as the qualities of this kind of facilities. As a result, a wireless mix option with WIMAX and WiFi links was chosen, using cable technology only to the close interconnection between equipments.

This choice was made with the intention of giving the plant with a reliable, robust and flexible system without neglecting the economic factor, so that, the selection of equipment, the layout at the plant and operating basic configuration have been paid great attention. From the final solution is obtained a financial budget of the facility. Design is completed by radioelectric simulations to ensure the operation of the several links properly.

Índice de contenidos

Capítulo 1. Antecedentes del proyecto fotovoltaico	5
1.1. Visión General	6
1.2. Sistemas de comunicaciones en una planta	7
1.3. Objetivos del PFC	8
1.4. Estructura del PFC	8
Capítulo 2. Descripción de una planta.....	11
2.1. Situación	12
2.2. Estructura eléctrica de una planta	13
2.3. Estructura constructiva de una planta	15
2.4. Sistema de captación de señales	17
2.5. Puntos de adquisición	17
Capítulo 3. Tecnología	20
3.1. WiFi	21
3.1.1. IEEE 802.11b	22
3.1.2. IEEE 802.11a.....	22
3.1.3. IEEE 802.11g	23
3.1.4. IEEE 802.11n	24
3.2. WiMAX	24
3.2.1. WiMAX fijo	26
3.2.2. WiMAX móvil.....	27
Capítulo 4. Descripción de la planta solar fotovoltaica	28
4.1. Situación y parcelación de la planta	29

4.2.	Estructura de la planta.....	31
4.3.	Captación de señales en la planta	36
4.3.1.	Centros de Inversión	36
4.3.2.	Centros de Transformación	36
4.3.3.	Estación Meteorológica	37
4.3.4.	Centro de Reparto	37
Capítulo 5.	Diseño del sistema de comunicaciones	38
5.1.	Consideraciones generales de diseño.....	39
5.2.	Conexión mediante Ethernet.....	40
5.3.	Fibra Óptica	41
5.4.	WiFi	43
5.5.	WiMAX	44
5.6.	Solución final	45
5.7.	Conexionado de Centros	60
5.7.1.	Centros de Inversión	60
5.7.2.	Centros de Transformación	63
5.7.3.	Centro de Reparto	65
5.7.4.	Centro de Control	67
5.8.	Configuración de Radioenlaces	70
5.8.1.	Disposición de las antenas	70
5.8.2.	Modo de funcionamiento de equipamiento WiMAX	73
5.8.3.	Modo de funcionamiento de equipamiento WiFi	77
5.9.	Presupuesto del Proyecto	78
Capítulo 6.	Simulación y modificaciones.....	80

Capítulo 7. Conclusiones y líneas futuras	84
7.1. Conclusiones.....	85
7.2. Líneas futuras.....	86
Referencias	87

Capítulo 1.

Antecedentes del proyecto fotovoltaico

1.1. Visión General

En los últimos años se está produciendo una gran proliferación de plantas de energía solar fotovoltaica por todo el mundo, siendo cada vez más importante el porcentaje de energía suministrado a la sociedad por este tipo de fuente.

La visión sobre la obtención de energía para el consumo humano está cambiando cada vez más y se está realizando una transición progresiva a las energías renovables. Este hecho es debido a la limitación de muchas fuentes de energía por su agotamiento a lo largo del tiempo y el gran poder contaminante de algunas de ellas. Las energías renovables, como su propio nombre indica, son inagotables y se reponen de forma natural los recursos gastados en la extracción de la energía, siendo dicho proceso de extracción muy respetuoso con el medio ambiente.

Dentro de las energías renovables, destaca la energía solar, puesto que se puede producir en la mayor parte del mundo y su aprovechamiento es bastante grande comparado con otras fuentes de energía renovables. La energía solar se puede aprovechar de dos formas fundamentalmente, obteniendo energía térmica mediante colectores solares, o energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos. Además, se puede extraer energía para abastecimiento local o en cantidades importantes.

En este Proyecto se diseña un sistema de comunicaciones para una planta solar fotovoltaica, cuya finalidad es la obtención de energía eléctrica para abastecimiento de grandes áreas geográficas, no siendo válido para instalaciones de abastecimiento propio.

Uno de los motivos prácticos más importantes por el que están apareciendo numerosas plantas solares fotovoltaicas es la estricta regulación que se está llevando a cabo en Europa de la proporción de energía que procede de fuentes renovables sobre el total de energía producida. La exigencia de energía proveniente de fuentes renovables se endurece con el paso de los años para ir desechando cada vez más las fuentes de energía agotables.

Para cumplir los objetivos fijados en Europa sobre la obtención de energía de fuentes renovables, los países han estado concediendo subvenciones, facilidades y ayudas (reguladas por cada comunidad autónoma) con la finalidad de fomentar la construcción de nuevas plantas solares fotovoltaicas. Muchas otras empresas han aprovechado este nuevo mercado para ofrecer financiación para la construcción de dichas plantas.

Cada cierto tiempo se hace una directiva nueva en el Parlamento Europeo con nuevos objetivos a cumplir en un margen de 10 años. El 27 de septiembre de 2001 se aprobó la Directiva 2001/77/CE [1] del Parlamento Europeo y del Consejo, que establecería los objetivos en materia de energías renovables entre los años 2001 y 2010. El 23 de abril de 2009 se ha aprobado la Directiva 2009/28/CE [2] del Parlamento Europeo y del Consejo que rige los objetivos vigentes a cumplir entre los años 2011 y 2020.

La directiva requiere que cada Estado elabore y notifique a la Comisión Europea (CE) en un breve periodo de tiempo un Plan de Acción Nacional de Energías Renovables con vistas al cumplimiento de los objetivos vinculantes que fija la directiva.

A partir de la directiva, aparece una ley estatal, que actualmente en España es la Ley 2/2011 de Economía Sostenible [3]. Los objetivos fundamentales vienen recogidos en el artículo 78, donde se especifica que en 2020 se debe conseguir una participación mínima de las energías renovables del 20% del consumo de energía final bruto.

1.2. Sistemas de comunicaciones en una planta

Es muy importante implementar un sistema de comunicaciones robusto y eficiente en las plantas solares fotovoltaicas. En realidad, es transcendental en todos los tipos de instalaciones de generación de energía, pero en este Proyecto se trata un caso particular.

En primer lugar, en una planta solar fotovoltaica debe haber trabajadores controlando el correcto funcionamiento del equipamiento eléctrico y desempeñando tareas de medición y mantenimiento, por lo que ya se parte de la necesidad de un mínimo de comunicación con el exterior para coordinar las intervenciones técnicas y de mantenimiento. Al ser un emplazamiento fijo, se tiende por naturaleza a proveer a la instalación de comunicaciones fijas.

En segundo lugar, y por supuesto mucho más importante, se necesita un sistema de comunicaciones para realizar un seguimiento fiable y seguro del funcionamiento del equipamiento, orientado a la preservación de los propios dispositivos instalados, de una producción satisfactoria de energía, y de la seguridad medioambiental y de los trabajadores de las instalaciones.

Con la finalidad de llegar a monitorizar la mayor parte del equipamiento de la planta (siendo indispensable la monitorización de una parte de los equipos instalados, recomendable la de otra parte de los dispositivos, y opcional e incluso innecesaria la del resto) se debe implementar una red de comunicaciones que cubra la superficie de la planta.

Mediante esta red de comunicaciones, se consigue que tanto el equipamiento eléctrico como el propio equipamiento de comunicaciones informen del estado en el que se encuentran y de su funcionamiento, permitiendo a los operarios de planta detectar averías en los dispositivos instalados, que pueden producir pérdidas en la producción de energía (y por tanto pérdidas económicas) y desperfectos en el resto de instalaciones de la planta (posibles derivaciones eléctricas, incendios, etc.) pudiendo ocasionar daños en el medioambiente y en el personal laboral de la propia planta.

Además, es muy necesario el sistema de comunicaciones que se pretende implementar para medir la producción de la planta (tanto localmente en varios puntos como globalmente) y una

gran cantidad de parámetros que interfieren en la producción, en el consumo y en la seguridad. De hecho, algunas mediciones son obligatorias y se han de proporcionar directamente a entidades reguladoras externas para cumplir la normativa específica en este tipo de instalaciones. Las mediciones realizadas se almacenarán en bases de datos para mantener un control y permitirán realizar un seguimiento a lo largo del tiempo de los parámetros medidos.

Del hecho de tener que entregar algunas mediciones a entidades externas se obtiene la necesidad de comunicar la red implementada en la planta con el exterior, pudiendo hacerse en la mayor parte de los casos contratando los servicios de una operadora que suministre de conexión a internet en la planta solar.

No solo se consigue telemetría con el sistema de comunicación, sino que se puede realizar telecontrol de algunos equipos eléctricos y de comunicaciones.

La integración de todo el sistema de comunicaciones brinda a los operarios la posibilidad de controlar y monitorizar toda la planta de forma centralizada desde un punto específico de la planta o desde cualquier punto teniendo acceso a internet, algo imprescindible en las instalaciones de este tipo en la actualidad.

1.3. Objetivos del PFC

El objetivo de este PFC es diseñar un sistema de comunicaciones, robusto y eficiente, que pueda ser implementado en una planta solar fotovoltaica. El diseño debe contener el tipo de equipamiento a utilizar, la situación de dicho equipamiento, y configuraciones necesarias para el correcto funcionamiento del sistema.

Para considerar válido el sistema contemplado, es necesario examinar distintas posibilidades para la implementación, intentando obtener un sistema de comunicaciones óptimo para las funciones a desempeñar en este tipo de instalaciones, que ya han sido explicadas en el apartado anterior.

1.4. Estructura del PFC

En el presente PFC se seguirá un procedimiento determinado para diseñar el sistema de comunicación con la finalidad de conseguir el objetivo planteado evitando encontrar excesivas complicaciones e imprevistos a la hora de implementar el diseño físicamente.

Para visualizar de forma más clara y sencilla la estructura del desarrollo del Proyecto, se ha representado en el diagrama de la figura Fig. 1.

El diagrama de la figura Fig. 1 representa el procedimiento a seguir en el Proyecto actual para diseñar el sistema de comunicaciones a implementar en la planta fotovoltaica. Es posible que

puedan utilizarse otros procedimientos en el desarrollo del proyecto, pero dependerá de los factores que influyan en su realización. El procedimiento, evidentemente, puede modificarse a medida que se encuentren obstáculos en su desarrollo.

Se puede observar en el diagrama que el primer paso debe ser establecer los objetivos del proyecto (ya fijados en el apartado anterior). Posteriormente se debe analizar una planta solar fotovoltaica y su funcionamiento para determinar las necesidades y las posibilidades del sistema de comunicaciones a diseñar. A continuación se analizan algunas de las posibles tecnologías que se podrían utilizar analizando sus características.

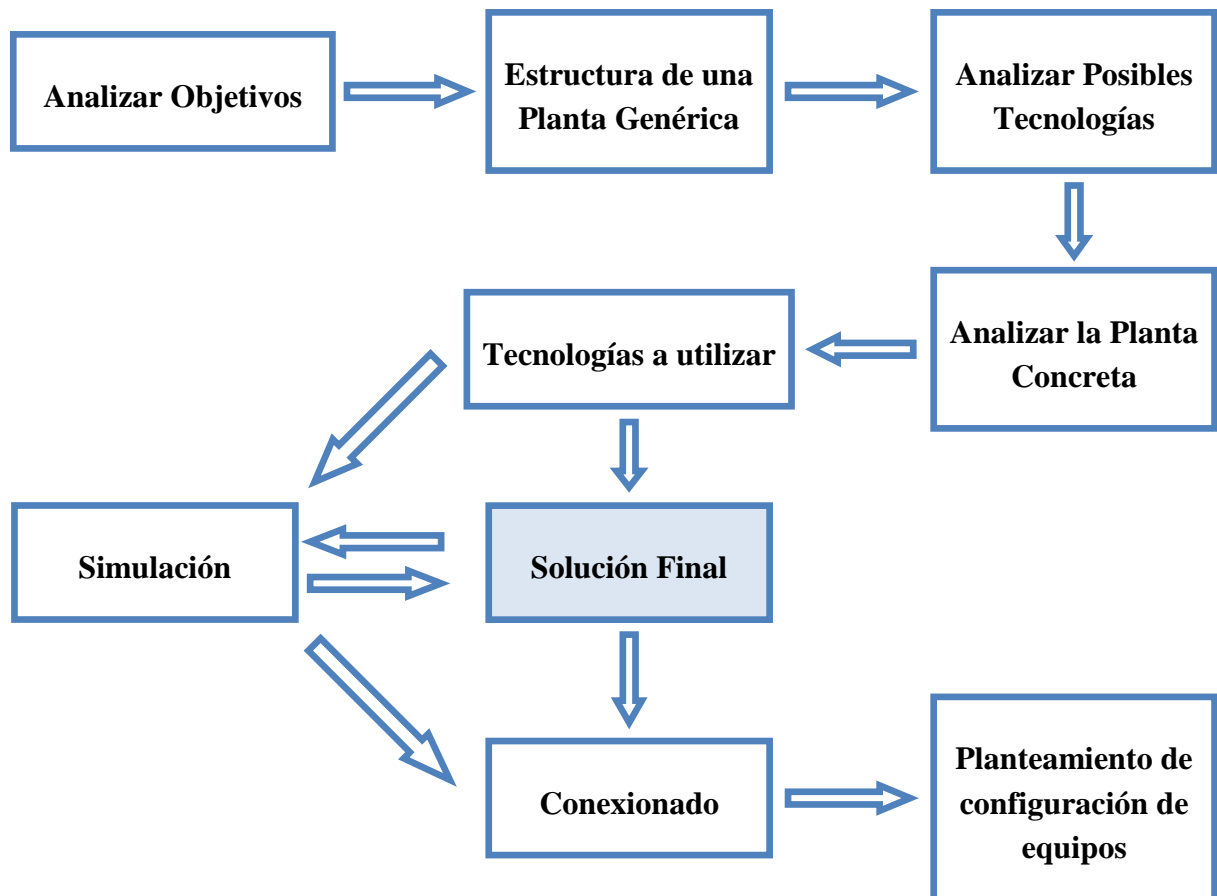


Fig. 1. Procedimiento a seguir en la realización del Proyecto.

Se procede, tras analizar las tecnologías, a realizar un estudio de la planta solar en particular que se provisionará, poniendo especial atención a su distribución y equipamiento. Tras este análisis, se seleccionan las tecnologías que se utilizarán para la implementación del sistema de comunicaciones.

Una vez llegado a este punto, se obtiene la solución final a implementar. Esta solución resulta de estudiar la estructura de la planta y alrededores, las características de las tecnologías, de su combinación, y de la realización de simulaciones. Es recomendable realizar simulaciones para decantarse por una solución, y para comprobar el correcto funcionamiento una vez escogida la

Sistema de comunicaciones para una planta fotovoltaica

solución, de esta manera se conseguirá detectar fallos en el diseño y modificarlos antes de que sea tarde.

Una vez seleccionada la solución a implementar, se diseña el conexionado de toda la red de comunicaciones y su integración con el equipamiento eléctrico de la planta.

Por último, se plantean las configuraciones y modos de funcionamiento de algunos equipos de comunicaciones para establecer enlaces más robustos teniendo en cuenta las necesidades y la influencia del entorno de la planta.

Capítulo 2.

Descripción de una planta

2.1. Situación

En primer lugar, es indispensable tener en cuenta que por norma general las plantas fotovoltaicas se encuentran en zonas rurales y no muy urbanizadas, puesto que se pueden necesitar parcelas relativamente grandes buscando un bajo coste para abaratar su construcción (habitualmente, no existen parcelas muy grandes disponibles en las ciudades y el precio del suelo suele ser mucho mayor que en zonas rurales). Además, debe poderse instalar cómodamente el equipamiento y cableado eléctrico, siendo en zonas muy urbanizadas más difícil.

Un factor muy importante para su situación es que no se vea afectada la producción de energía por la interposición de obstáculos entre las células fotovoltaicas y los rayos solares. Esto se evita situando la planta en zonas donde apenas existan alturas que puedan interferir, por lo que se tiende a situarlas en zonas llanas y sin demasiadas construcciones, por tanto, a alejarlas de las ciudades evitando así que otras construcciones puedan obstaculizar la recepción de radiación solar. Este hecho podría acarrear dificultades a la hora de dotar a la planta de acceso a internet, y por tanto, de comunicación con el exterior, pero en la actualidad la mayor parte del territorio español posee acceso a internet de diversas formas y no debería preocupar demasiado estas dificultades.

Lo más importante en la determinación de la situación de una planta solar fotovoltaica, es la cantidad de radiación solar que alcanza la superficie terrestre en función de la zona geográfica. Esta cantidad de radiación se mide con una variable llamada irradiancia [4], que es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética, expresándose en W/m^2 .

Normalmente, y siempre que sea posible, se construirán las plantas solares en las zonas donde se mida una mayor irradiancia. Existen bases de datos de la medida de la irradiancia en diferentes momentos y épocas del año, disponibles en tablas, mapas, y aplicaciones informáticas. Como ejemplo, se puede disponer de información de la irradiancia a través del mapa interactivo de la irradiación global total anual a nivel europeo de la Instalación Europea de Pruebas Solares (*European Solar Test Installation*, ESTI) [5]. La irradiancia está estrechamente relacionada con la irradiación, puesto que esta última es la cantidad de irradiancia recibida en un lapso de tiempo determinado, midiéndose en $\text{W}\cdot\text{h/m}^2$ o unidades equivalentes. En la figura Fig. 2 se puede observar un mapa de la irradiación global total anual sobre superficie horizontal en España, que se corresponde con la irradiancia acumulada en un año.



Fig. 2. Irradiación global total anual en España

Es importante tener presente para el diseño que este tipo de instalaciones se encuentran en zonas muy expuestas a la radiación solar, por lo que a la hora de escoger equipamiento para la planta, se debe prestar atención a sus características y comportamiento en exteriores a altas temperaturas.

2.2. Estructura eléctrica de una planta

Los elementos más importantes en una planta solar fotovoltaica son los módulos solares[6], puesto que desempeñan el papel principal en la generación de energía por obtener corriente eléctrica a partir de la radiación solar.

Los módulos solares generan electricidad de baja tensión, en forma de corriente continua. Las intensidades generadas por un cierto número de paneles fotovoltaicos conectados en serie (agrupación en términos de intensidad eléctrica que recibe el nombre de *string*) se suman encaminándose hacia las cajas de nivel 1. Estas cajas concentradoras de corriente reciben el nombre de DCBox, y ellas se conectan un cierto número de *strings* en paralelo, para sumar sus intensidades y obtener a su salida una única corriente, también continua.

Con la finalidad de seguir concentrando la intensidad eléctrica y transformar la corriente continua en alterna, se encaminan las corrientes de las DCBox a las entradas de los Inversores.

Puede darse el caso de que se tengan demasiadas líneas de corriente y no podamos llegar a concentrarlas lo suficiente con las cajas de nivel 1 y los inversores, pudiéndose intercalar entre ambos equipos cajas de nivel 2 para reducir más el número de líneas de corriente.

Una vez que se obtiene corriente alterna de baja tensión se conduce hacia los transformadores para convertirla a media tensión, y cada transformador inyecta la corriente alterna obtenida de todo el equipamiento eléctrico anterior en la red de media tensión de la planta.

Para controlar el funcionamiento de los transformadores se instalan sistemas auxiliares como es el caso de los seccionadores de celdas, que permiten desconectar el transformador de la red de media tensión, y de los interruptores de BT (Baja Tensión), que permiten desconectar el transformador de la red de baja tensión.

La red de media tensión, tras recolectar la electricidad procedente de los transformadores se convertirá en alta tensión en una Subestación Eléctrica, que puede estar dentro de la propia planta o ser externa a ella.

Siempre debe existir una serie de protecciones de las líneas de media tensión, salvaguardando toda la instalación eléctrica de posibles sobrecargas y sus consecuentes averías, que se ubicará en un recinto dedicado a ello que recibe el nombre de Centro de Reparto.

En plantas de cierto tamaño y con cierta producción necesitan estar dotadas de un alto grado de centralización en el control y supervisión, por lo que se instala un Centro de Control, desde el que se monitoriza, supervisa y controla toda la planta y su producción. El Centro de Control constituye el centro neurálgico de las comunicaciones de la planta.

En toda planta solar, también es fundamental la colocación de una estación meteorológica, puesto que la producción de energía depende casi exclusivamente de las condiciones climatológicas y es conveniente medir las distintas variables que afectan a la producción (siendo la irradiancia la más importante).

En el diagrama Fig. 3 se puede observar un esquema muy simplificado de la estructura del equipamiento eléctrico principal de un modelo de planta solar fotovoltaica. A partir de este esquema se puede aproximar una idea de la estructura de la red de comunicaciones que se podría necesitar para cubrir las necesidades planteadas.

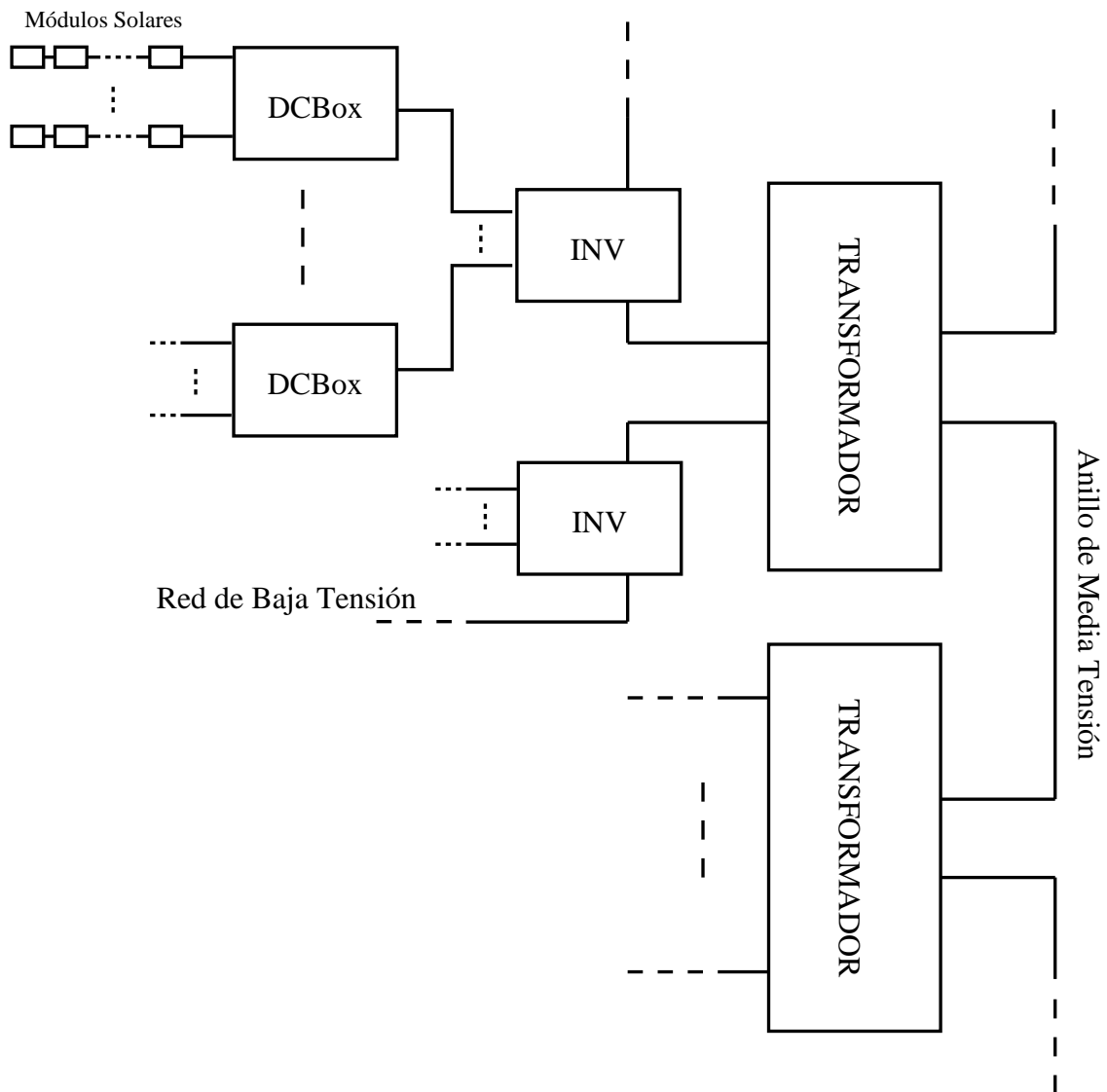


Fig. 3. Diagrama simplificado de la estructura del equipamiento eléctrico principal de una planta solar fotovoltaica.

2.3. Estructura constructiva de una planta

Cada planta solar fotovoltaica en particular puede estructurarse de manera diferente, ya que cada empresa constructora de dichas plantas puede construirlas a su antojo siempre que cumplan ciertas normativas. Pero como en todos los ámbitos constructivos, se suelen diseñar siguiendo una estructura bastante similar, que se analizará en este apartado.

La mayor parte del terreno de la planta se encuentra ocupado por módulos solares, que es el equipamiento básico de estas instalaciones. Se suelen distribuir agrupados para facilitar el cableado y tener una estructura organizada en la planta.

Sistema de comunicaciones para una planta fotovoltaica

Los módulos solares no se instalan de forma independiente, sino que se enmarcan varios en una misma estructura. El número de módulos que albergan estas estructuras puede variar en función del diseño de la planta. Se distribuyen las estructuras de módulos por la planta, de forma organizada para facilitar el cableado y la interconexión con el equipamiento eléctrico conveniente.

Los inversores se instalan en los Centros de Inversión (CI), pudiendo contener varios inversores cada uno de estos centros. Un centro de inversión consistirá en una edificación que albergará los inversores y su equipamiento auxiliar.

Los transformadores se alojan en los Centros de Transformación (CT)[7], albergando por lo general un único transformador. Cada Centro de Transformación puede tener asociados varios Centros de Inversión.

Los Centros de Transformación, además del propio transformador, también contienen sistemas auxiliares como los seccionadores de celdas y los interruptores de BT entre otros.

Las protecciones de las líneas de media tensión se instalan en el Centro de Reparto (CR). De este tipo de centros puede haber varios en la misma planta, aunque normalmente suele encontrarse solamente uno.

El centro de comunicaciones y lugar principal desde donde se desarrollará la monitorización y control de la planta se sitúa en el Centro de Control (CC). Debido a que en este centro es donde se encuentra una gran parte del equipamiento de comunicaciones de la planta, donde se realiza la actividad laboral principal de los operarios de planta, y donde más tiempo pasarán, suele ser la construcción más grande de la planta, y con más comodidades. Habitualmente es un edificio de obra, similar a una casa, aunque todo dependerá del diseño de la planta solar. Se debe situar en un sitio muy accesible para que los operarios puedan llegar de manera sencilla.

Los centros explicados anteriormente, también deben situarse en lugares accesibles para que los operarios puedan acceder a realizar los trabajos de mantenimiento necesarios, pero suelen tener menos comodidades que el Centro de Control, siendo en gran parte de casos prefabricados y de reducido tamaño.

Es frecuente que las plantas solares incorporen otra construcción más que sirva de almacén, con la finalidad de disponer de equipamiento de recambio, tanto eléctrico como de la red de comunicaciones, en cualquier momento.

Tampoco es necesario que la estación meteorológica se instale en un lugar predeterminado de la planta por norma, pero lo más habitual es instalarla cerca de alguno de los centros explicados anteriormente, preferiblemente el Centro de Control, así se dispone de acceso fácil y rápido a su equipamiento, y se integra fácilmente en la red de comunicaciones.

2.4. Sistema de captación de señales

En una planta solar fotovoltaica es fundamental la monitorización constante de los distintos parámetros de producción, puesto que se necesita llevar un control, tanto local como por parte de una entidad reguladora, de la producción. Además, es muy importante para vigilar el correcto funcionamiento del equipamiento eléctrico, puesto que la red de comunicaciones permite la monitorización de cada equipo y el envío de alarmas por parte de estos.

La monitorización del equipamiento eléctrico y su producción no se pueden realizar en la mayoría de los casos configurando el propio equipo para que lo proporcione directamente, sino que se necesitan dispositivos y sistemas auxiliares para obtener parámetros de estado y funcionamiento de los equipos y parámetros de producción. Se deberán utilizar diferentes dispositivos de adquisición en función de la naturaleza de las señales a medir, los parámetros a obtener y de las características del propio equipamiento eléctrico.

A continuación se analizarán los sistemas que suelen utilizarse para la adquisición de señales en planta.

- **Transformadores de intensidad toroidales**: permiten tomar la medida de la intensidad en Amperios en las líneas de corriente eléctrica sin interrumpir el circuito eléctrico [8].
- **Captadores de tensiones**: permiten medir la tensión en Voltios en las líneas.
- **Sondas de temperatura**: permiten medir la temperatura ambiente de los centros, con la finalidad de asegurar unas condiciones de trabajo adecuadas para el equipamiento.
- **Captadores de señales analógicas**: permiten recoger las señales adquiridas por los equipos de captación.
- **Captador de señales digitales**: permiten recoger las señales de estado de algunos dispositivos y sistemas.
- **Analizadores de energía (o de red)**: permiten conocer el comportamiento eléctrico localmente.
- **Contadores de Media Tensión**: permiten conocer el comportamiento eléctrico de las líneas de media tensión.

2.5. Puntos de adquisición

Para la monitorización de los parámetros de producción y del estado del equipamiento se realiza una captación de señales en distintos puntos de la planta dependiendo de las medidas a tomar. Los puntos de la planta en los que se necesitará acceso a la red de comunicaciones están muy relacionados con los puntos de captación de señales, por lo que tras el análisis de la adquisición de señales se tendrá un esquema bastante significativo de la red de comunicaciones a implementar.

En primer lugar, es importante tomar las medidas de producción de los paneles solares. Por el encarecimiento económico y complicación técnica y funcional no se toman medidas a la salida de cada módulo (puesto que suele haber una gran cantidad de ellos), sino que se toma la medida de los parámetros de producción a la entrada de cada inversor (de las distintas líneas de entrada procedentes de las DCBox). Por tanto las medidas de producción más selectivas que se tomarán serán las intensidades de corriente de las DCBox (que concentran la corriente de los *strings*).

Teniendo en cuenta que se han de hacer medidas en los inversores, y estos se encuentran alojados en los Centros de Inversión, estos centros serán puntos importantes de adquisición de señales. Será importante medir corrientes y tensiones tanto a la entrada como a la salida del inversor, permitiendo analizar el correcto funcionamiento de dicho equipo, y controlar la producción en las etapas anteriores del proceso de generación de energía. También se debe medir la temperatura en el habitáculo, puesto que es importante controlar las condiciones de trabajo de los dispositivos.

La etapa siguiente en el proceso de generación en la planta solar es obtener corriente alterna por medio de transformadores, lo que implica que los siguientes puntos importantes de adquisición de señales serán los Centros de Transformación.

Las medidas a tomar en los Centros de Transformación es menor que en los Centros de Inversión, pero no por eso menos importante. No se captan medidas sobre tensión ni corriente, sino que prima el estado del equipo y el control de la distribución de la energía. Por eso las medidas que realizan son de temperatura, y de estado de interruptores.

También, un punto muy importante en el que se deben realizar medidas es el Centro de Reparto, obteniéndose parámetros relacionados con el estado del equipamiento de media tensión y parámetros sobre la producción total de la planta y el consumo de la misma. En este centro se realizan medidas de temperatura, del comportamiento eléctrico de las líneas de media tensión, del estado de las celdas de Protección General y de los secundarios de los transformadores, y la señal de alarma de intrusismo (en caso de que se habilite este tipo de alarma).

La estación meteorológica es otro emplazamiento importante para la adquisición de datos, puesto que es conocido el hecho de que las plantas solares se basan en condiciones meteorológicas para la producción de energía. Dicha estación meteorológica está compuesta por distintos dispositivos pero habitualmente ya vienen integrados como un único equipo. De dicha estación se obtienen medidas muy importantes para relacionarlas con la producción de la planta. El parámetro medido más importante es la irradiancia, ya comentado anteriormente. Este parámetro denotará la producción instantánea de los módulos solares. Además, se pueden tomar otras medidas: humedad, temperatura, dirección y velocidad del viento, precipitación, etc.

Sistema de comunicaciones para una planta fotovoltaica

Tras el análisis de los emplazamientos dónde se realiza la captación de señales, se puede concluir que los puntos más importantes de la planta en lo que a comunicaciones se refiere y en los que se necesita acceso a la red de comunicaciones son:

- Centro de Control
- Centros de Transformación
- Centros de Inversión
- Centro de Reparto
- Estación Meteorológica

Se puede observar que se ha introducido como punto fundamental en las comunicaciones el Centro de Control a pesar de no ser un punto de captación de señales, pero al ser el centro neurálgico del control y de las comunicaciones de la planta, evidentemente, debe tener acceso a la red. Y debe intentarse que no existan problemas de conectividad a la red en el Centro de Control, ya que es el punto que controla toda la planta y la propia red de comunicaciones.

Capítulo 3.

Tecnología

Existen numerosas tecnologías disponibles en el mercado con posibilidad de ser implementadas en una red de comunicaciones. Es importante seleccionar las tecnologías apropiadas, y las características de los equipos que se basan en dichas tecnologías.

En lo que al Proyecto actual se refiere, se debe tener en cuenta que hay una gran diferencia de tamaño entre plantas fotovoltaicas, dependiendo de su emplazamiento y de su potencia nominal.

Se deben establecer en primer lugar los tipos de dispositivos que se necesitan implementar en la red a diseñar teniendo claros los objetivos. En este Proyecto no se incluirá la instalación de la estación meteorológica, las células solares, y demás equipamiento eléctrico. En lo que respecta a comunicaciones, tampoco se incluirá la instalación del servidor y ordenadores de operación.

El objetivo del diseño de la red de comunicaciones para una planta fotovoltaica es conseguir información y mediciones de variables importantes en la producción de energía eléctrica. Para ello, se necesita llegar a la mayor parte de los dispositivos de la red.

A continuación se estudiarán dos tecnologías inalámbricas muy importantes en los últimos tiempos, puesto que finalmente la solución a implementar estará basada en dichas tecnologías. Por este motivo no se examinarán en este apartado las tecnologías cableadas, dejando para más adelante en el documento su análisis aplicado al caso concreto del Proyecto, siendo mucho más útil que su análisis general en este apartado.

3.1. WiFi

La tecnología WiFi (*Wireless Fidelity*) representa un conjunto de estándares de comunicación inalámbrica muy extendido y accesible para la sociedad [9]. Se basa en la comunicación mediante ondas permitiendo gran flexibilidad en la red en la que esté implementada.

Las redes de área local inalámbrica (WLAN) obtenidas con dispositivos WiFi están caracterizadas por la especificación IEEE 802.11 y normalizado como ISO/IEC 8802-11 [10].

Existen diversas generaciones de WiFi dependiendo del estándar en el que se basa [11], caracterizándose por su ancho de banda y frecuencia de trabajo, como se puede apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1. Generaciones WiFi

Tecnología WiFi	Banda de frecuencia	Velocidad binaria máxima
IEEE 802.11a	5 GHz	54 Mbps
IEEE 802.11b	2.4 GHz	11 Mbps
IEEE 802.11g	2.4 GHz	54 Mbps
IEEE 802.11n	2.4 GHz, 5 GHz	450 Mbps

3.1.1. IEEE 802.11b

El estándar 802.11b [12] es uno de los más utilizados y extendidos. Utiliza la banda de 2,4 GHz con tres canales de radio disponibles y posee una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbps. Al estar tan establecido en la sociedad tecnológica, está más que probada su efectividad. Emplea modulación DSSS (*Direct-Sequence Spread Spectrum*) [13] e inicialmente se soportan hasta 32 usuarios por punto de acceso. El alcance de esta especificación depende de la velocidad de transmisión, y se puede observar en la Tabla 2. Evidentemente el alcance también viene determinado con el dispositivo en el que se aplique esta tecnología, puesto que se puede ganar bastante alcance con antenas de ganancia mayor.

Tabla 2. Relación estimada entre velocidad y alcance en el estándar 802.11b

Velocidad hipotética	Alcance (recintos cerrados)	Alcance (al aire libre)
11 Mbit/s	50 m	200 m
5,5 Mbit/s	75 m	300 m
2 Mbit/s	100 m	400 m
1 Mbit/s	150 m	500 m

Las grandes ventajas del 802.11b son su bajo coste, buen alcance y rendimiento.

La desventaja más importante es que su frecuencia también es utilizada por otras tecnologías (como Bluetooth) y equipos (como hornos microondas o teléfonos inalámbricos) que son fuentes potenciales de interferencias. Otra desventaja es que su velocidad máxima no es suficiente para muchas aplicaciones.

3.1.2. IEEE 802.11a

El estándar 802.11a [14] apareció al mismo tiempo que el estándar 802.11b, pero evolucionó y se extendió menos y más lentamente. Alcanza una velocidad máxima de 54 Mbps trabajando en la banda de frecuencia de 5 GHz. Utiliza una modulación QAM-64 y codificación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) [15]. El alcance de esta especificación depende de la velocidad de transmisión, y se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Relación estimada entre velocidad y alcance en el estándar 802.11a

Velocidad hipotética (en ambientes cerrados)	Rango
54 Mbit/s	10 m
48 Mbit/s	17 m
36 Mbit/s	25 m
24 Mbit/s	30 m
12 Mbit/s	50 m
6 Mbit/s	70 m

Se puede apreciar que el alcance en el estándar actualmente analizado es mucho menor que en el anteriormente explicado, debido a que su frecuencia es mayor y tiene una mayor atenuación en la transmisión. Incluso, se puede necesitar línea de visión directa entre equipos para evitar que las ondas sean absorbidas con demasiada facilidad.

Las grandes ventajas de esta especificación son la velocidad alta de transmisión, y la pequeña posibilidad de aparición de interferencias debido a la escasa utilización de la banda de 5 GHz por parte de otros dispositivos y tecnologías.

Los problemas del estándar 802.11a son un mayor coste que el estándar anterior y un menor alcance y menor estabilidad ante posibles obstáculos.

No puede interoperar con equipos del estándar 802.11b por utilizar distinto rango de frecuencias, excepto si se dispone de equipos que implementen ambos estándares.

3.1.3. IEEE 802.11g

El estándar 802.11g [16] es la evolución del estándar 802.11b y mantiene la compatibilidad con él. Utiliza la misma banda de frecuencia pero alcanza una mayor velocidad máxima (54 Mbps). Utiliza modulaciones tanto DSSS como OFDM. El alcance de esta especificación depende de la velocidad de transmisión, y se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Relación estimada entre velocidad y alcance en el estándar 802.11g

Velocidad hipotética	Alcance (recintos cerrados)	Alcance (al aire libre)
54 Mbit/s	27 m	75 m
48 Mbit/s	29 m	100 m
36 Mbit/s	30 m	120 m

24 Mbit/s	42 m	140 m
18 Mbit/s	55 m	180 m
12 Mbit/s	64 m	250 m
9 Mbit/s	75 m	350 m
6 Mbit/s	90 m	400 m

Las grandes ventajas del 802.11g son su mayor velocidad de transmisión y su buen alcance y resultado.

La desventaja más importante, al igual que en la especificación de la que procede, es que su frecuencia también es utilizada por otras tecnologías y equipos pudiendo producirse interferencias. Otra desventaja es que su coste aumenta respecto al estándar 802.11b.

3.1.4. IEEE 802.11n

El estándar 802.11n [17] es capaz de trabajar tanto en la banda de frecuencia de 2,4 GHz como en la de 5 GHz simultáneamente. Por esta razón la compatibilidad con dispositivos de otros estándares WiFi es total.

Puede llegar alcanzar una velocidad máxima de transmisión de 450 Mbps.

Es el estándar más joven pero se está extendiendo con rapidez debido a su efectividad.

Las grandes ventajas aportadas por el estándar 802.11n son una mayor velocidad y alcance de la señal, y una menor probabilidad de que se produzcan interferencias con otras tecnologías y dispositivos.

Las desventajas más destacables son el elevado coste económico y que la tecnología analizada no está tan probada como el resto por ser la más reciente y novedosa.

3.2. WiMAX

La tecnología WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) se basa en la recepción y transmisión de información utilizando ondas de radio [18]. Viene definido en los estándares IEEE 802.16 [19].

Permite establecer enlaces inalámbricos de larga distancia, lo que permite distribuir datos en una región amplia. El objetivo de este sistema es proporcionar una conexión de alta velocidad en un rango de cobertura de decenas de kilómetros.

La tecnología WiMAX ha ido sufriendo modificaciones, y consecuentemente apareciendo distintos estándares [20] que se pueden apreciar en la Tabla 5.

Tabla 5. Generaciones WiMAX

Estándar	Fecha	Descripción
802.16	Abril 2002	Publicación de la versión definitiva del estándar. Espectro licenciado en el rango de 10 a 66 GHz con capacidad de hasta 134 Mbps de entre 3 y 10 km (2 a 5 millas).
802.16a	Abril 2003	Primer prototipo de esta tecnología. Ampliación del estándar hacia bandas de 2 a 11 GHz con sistemas NLoS y LoS y los protocolos PTP y PTMP.
802.16b		Extensión diseñada para dar una mejor calidad de servicio al protocolo (implementa QoS), el cual se centra en la banda de 5 a 6 GHz.
802.16c	Julio 2003	Permite la interoperabilidad entre sistemas específicos que trabajan en el ancho de banda de 10 a 66 GHz.
802.16d	Octubre 2004	Revisión del estándar 802.16 para añadir los perfiles aprobados por el WiMAX Fórum. Última versión del estándar. Permite amplificadores más baratos y diferentes esquemas de antenas inteligentes. Soporta tanto FDD como TDD, utiliza un rango de frecuencias entre 2 y 6 GHz.
802.16e	Diciembre 2005	WiMAX Móvil. Permite que los clientes de tecnología móvil utilicen redes de área metropolitana inalámbricas. Banda ancha nómada para dispositivos portátiles (notebooks).
802.16f		Permite que se usen las redes en malla.

Aunque puede emplearse para enlaces punto a punto, la tecnología WiMAX suele utilizarse en configuración punto a multipunto. En ese caso, el elemento fundamental es el transceptor de la estación base, una antena central que se asocia con las de los abonados.

Una ventaja importante de la utilización de WiMAX es la capacidad que posee de establecer comunicación entre la estación base y los abonados sin que estos tengan que estar en línea de visibilidad directa (implementado a partir de la versión 802.16a). Esta capacidad recibe el nombre de NLOS (*Non-line-of-sight*). Por este motivo se pueden eludir obstáculos pequeños, aunque el rendimiento real disminuirá apreciablemente.

Esta tecnología es propicia (y está siendo muy utilizada) para brindar cobertura en el área llamado “última milla”, constituyendo una alternativa al cableado normal, lo cual es especialmente interesante en zonas rurales. En la actualidad se está aplicando cada vez más en distintos ámbitos de las telecomunicaciones aprovechando su gran cobertura y efectividad sin necesidad de cablear.

El factor más característico de WiMAX, y de donde proviene su nombre, es la interoperabilidad y transparencia entre dispositivos de distintos fabricantes [21]. Esta característica es una gran ventaja, puesto que un cliente puede utilizar dispositivos de distintos fabricantes mientras estén debidamente certificados, y añadir dispositivos nuevos de fabricantes diferentes a su red. El único organismo capacitado para certificar el cumplimiento del estándar y la interoperabilidad entre equipos de distintos fabricantes es el WiMAX Forum [22].

Esta tecnología también incorpora en forma nativa la calidad de servicio (QoS), lo que proporciona al sistema una mayor agilidad en el caso de que se presente algún problema de comunicación o una sobrecarga de la red, al haber reservado un cierto ancho de banda para ciertos usos [23].

Los estándares WiMAX más importantes y más utilizados son 802.16d y 802.16e. En función del estándar en el que se basa y de su utilización se puede distinguir dos tipos de WiMAX: WiMAX fijo y WiMAX móvil.

Es conveniente determinar con precisión el uso y características del sistema de comunicación antes de implementarlo; una buena elección del estándar a implementar supondrá un menor gasto económico debido a que la migración desde 802.16d a 802.16e es muy costosa.

3.2.1. WiMAX fijo

WiMAX fijo está basado en el estándar IEEE 802.16-2004 [ver 802.16d en Tabla 5]. Estos sistemas de comunicaciones funcionan utilizando emplazamientos fijos tanto para la estación base como para las suscriptoras.

Los sistemas de este tipo permiten comunicaciones inalámbricas a largas distancias, sin necesidad de utilizar grandes longitudes de cables y los problemas que conlleva su despliegue en ciertos entornos (como zonas rurales), consiguiendo un rendimiento similar a una conexión DSL. Se puede conseguir una velocidad de transmisión máxima estimada de 75 Mbps, y un alcance estimado de 10 kilómetros de distancia sin línea de visión directa (NLoS) y hasta 50 con línea de visión directa (LoS).

WiMAX fijo utiliza la modulación OFDM, muy efectiva a la hora de transmitir datos sobre canales de más de 5MHz de ancho de banda, y trabaja en las bandas de frecuencia 2.5 GHz y 3.5 GHz, para las que se necesita licencia. También puede trabajar en la banda de 5.8 GHz que es libre y no se necesita licencia.

Esta tecnología incluye técnicas MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) que permiten incrementar la tasa de transmisión y disminuir la tasa de error aprovechando la propagación multitrayecto. Este funcionamiento se consigue utilizando varias canales de transmisión (a efectos prácticos, varias antenas) [24].

También implementa esquemas flexibles de sub-portadoras, codificación avanzada y modulación, en función de la distancia a la estación base. A los clientes con mejores condiciones en el canal de propagación se les proporciona modulaciones de mayor orden, y a los que sufren peores condiciones más robustas (típicamente los clientes más cercanos trabajarán con modulación 64-QAM, los que se encuentran a media distancia con modulación 16-QAM, y los más alejados con QPSK).

3.2.2. WiMAX móvil

WiMAX móvil está basado en el estándar IEEE 802.16e (ver Tabla 5). A partir del estándar utilizado para WiMAX fijo, se añaden los atributos y características necesarias para dar soporte de movilidad.

Con este estándar se pretende modificar la estructura en las redes de comunicación, permitiendo movilidad de los nodos de la red, y mayor flexibilidad en su utilización. Sumado al gran alcance que caracteriza a la tecnología WiMAX se intenta lograr un acercamiento a la unificación del mundo de la telefonía y las redes de datos.

WiMAX móvil es una solución de banda ancha inalámbrica que permite la convergencia de redes móviles y fijas a través de una tecnología de acceso radio común. Utiliza modulación OFDM y sistema de acceso al medio OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) para un comportamiento mejorado en situación de NLOS, y también se incorpora la S-OFDMA (OFDMA escalable) para dar soporte a canales escalables.

Este estándar está diseñado para trabajar a una frecuencia inferior a 6 GHz, siendo las bandas más probables para despliegues comerciales (en bandas con licencia) las de 2,3 GHz, 2,5 GHz y 3,5 GHz, así como la de 4,9 GHz para servicios de emergencias.

Implementa, como ya es conocido, QoS, pero en este caso se define una clase más de calidad de servicio que las incluidas en su predecesor, ertPS, que resulta especialmente interesante para implementar aplicaciones de voz sobre IP (VoIP).

Al tratarse de un estándar orientado a dispositivos portátiles el consumo de energía cobra gran importancia. Por esta razón se define un conjunto de estados para la gestión del consumo, pudiéndose definir estados latentes para reducir el mismo.

Respecto a la seguridad de datos, incluye algoritmos más complejos de codificación, como AES, que hacen que sea más seguro que su ya de por sí bastante seguro predecesor

Capítulo 4.

Descripción de la planta solar fotovoltaica

La planta solar fotovoltaica para la que se desea diseñar el sistema de comunicaciones no ha sido construida, se va a realizar un diseño de la red de comunicaciones sobre plano teniendo en cuenta el terreno real donde se emplazaría.

4.1. Situación y parcelación de la planta

Se supondrá que la planta solar proyectada va a ser construida en una zona de Murcia compuesta de diez parcelas registradas en el catastro, ocupando una extensión total de 194027 m² de terreno. La zona se encuentra en el término municipal de Fuente Álamo, entre las poblaciones de Campillo de Arriba, Campillo de abajo, y Campo Nubla.

El terreno para construir la planta solar se emplaza en esta zona debido a que tiene un valor de la irradiancia muy alto, comprobable en cualquier base de datos como es el caso de la proporcionada por la ESTI [5]. Por norma general, a medida que avanzamos por la Península Ibérica hacia el sur la irradiancia va en aumento, pero no se puede fijar esto como norma, porque no solamente depende de la posición geográfica. También es importante el precio del suelo, que en zonas rurales de este tipo, y en regiones como Murcia, es bastante bajo, implicando un menor coste en la construcción de la planta y, por tanto, un decremento del tiempo en rentabilizar el coste de construcción de la planta con las ganancias obtenidas de la producción de energía.

Las coordenadas geográficas donde se emplazará la planta solar estudiada en el Proyecto son 37° 41' 38.5" N, 1° 13' 36.3" O.

En la figura Fig. 4 se puede observar un plano de la zona donde se situará la planta con el identificador de cada parcela indicado numéricamente.

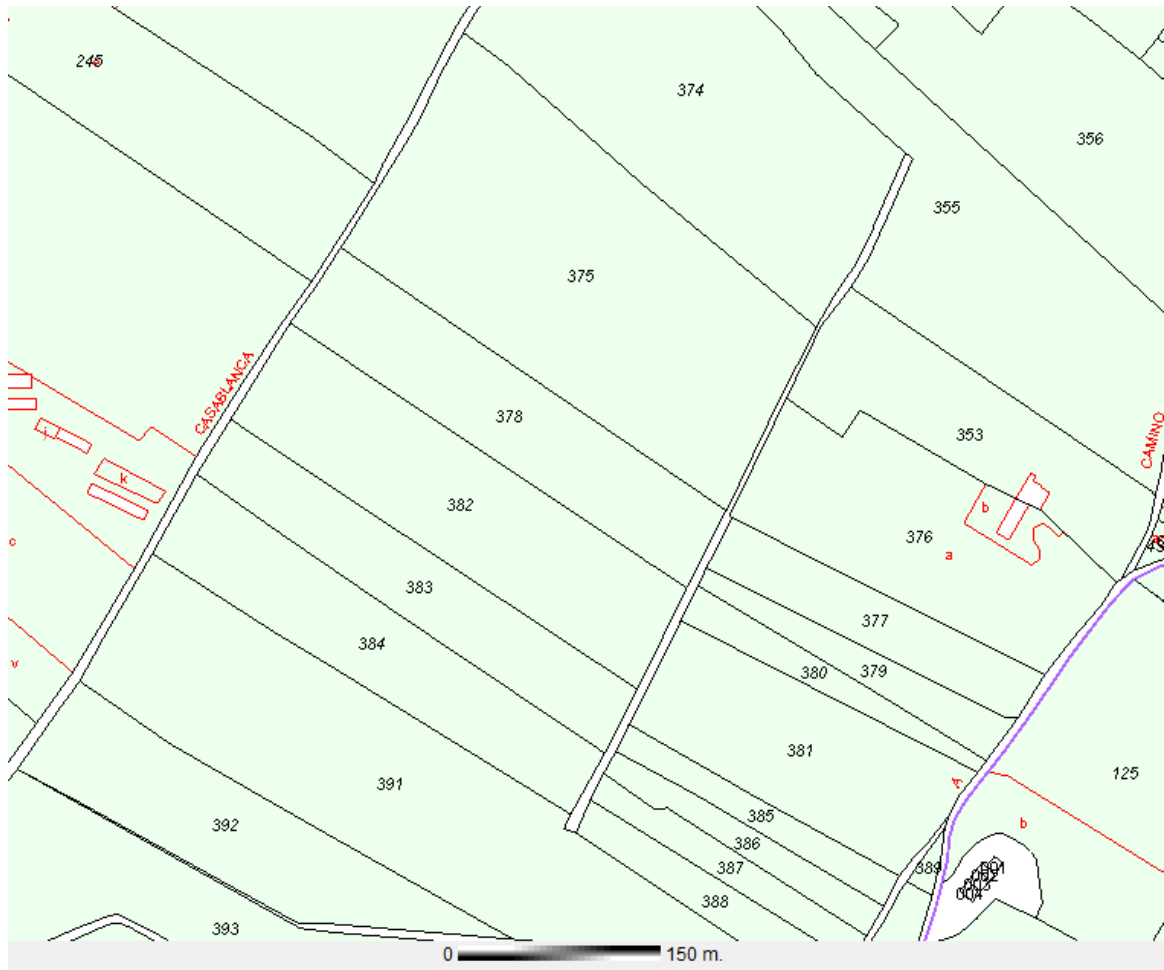


Fig. 4. Parcelación catastral de la zona seleccionada para situar la planta.

Se pueden apreciar las referencias catastrales [25] y las superficies de las parcelas que se emplearán para construir la planta en la Tabla 6.

Tabla 6. Parcelas concretas que constituyen la planta.

Provincia	Municipio	Referencia Catastral	Superficie (m ²)
Murcia	Fuente Álamo	51021A030003750000LI	54318
Murcia	Fuente Álamo	51021A030003780000LS	22866
Murcia	Fuente Álamo	51021A030003820000LZ	29361
Murcia	Fuente Álamo	51021A030003830000LU	17914
Murcia	Fuente Álamo	51021A030003840000LH	21756
Murcia	Fuente Álamo	51021A030003770000LE	10527
Murcia	Fuente Álamo	51021A030003790000LZ	5928
Murcia	Fuente Álamo	51021A030003800000LE	4883
Murcia	Fuente Álamo	51021A030003810000LS	21123
Murcia	Fuente Álamo	51021A030003850000LW	5351

En la figura Fig. 5 se puede observar una fotografía aérea de la zona con la división de parcelas señalada por medio de líneas rojas. Para observar de forma más clara la situación de la planta solar, se ha remarcado el perímetro con una línea gruesa de color morado.



Fig. 5. Vista aérea de la zona (con la parcelación de la planta resaltada)

4.2. Estructura de la planta

La planta solar fotovoltaica a construir es de 9 MWp (MegaWatt-Peak) de potencia. En el plano 1 se puede observar la distribución de las células solares y los emplazamientos del resto de equipamiento eléctrico.

Para la planta proyectada se ha planteado utilizar módulos solares de 100 W, agrupados en estructuras formadas por 18 módulos. Teniendo en cuenta que está previsto emplear inversores de 300 kW, se deberán conectar a cada inversor 166 estructuras de módulos.

Evidentemente, se puede utilizar módulos solares e inversores de otra potencia a la escogida, simplemente variaría el número de módulos, el número de estructuras de módulos y/o la potencia generada.

La planta dispondrá de 30 inversores, conectándose a cada uno de ellos 2988 módulos solares (de acuerdo con el cálculo realizado anteriormente). Los inversores se instalan en los Centros de Inversión (CI), conteniendo dos inversores cada uno de estos centros. En el plano 2 se

pueden apreciar los módulos solares asociados a cada inversor, distribuyéndose por zonas para facilitar el cableado y el mantenimiento.

En el Proyecto actual se considera que el inversor dispone de 8 entradas para las corrientes que proceden de las DCBox, disponiendo por tanto de 8 cajas de nivel 1 asociadas a cada inversor.

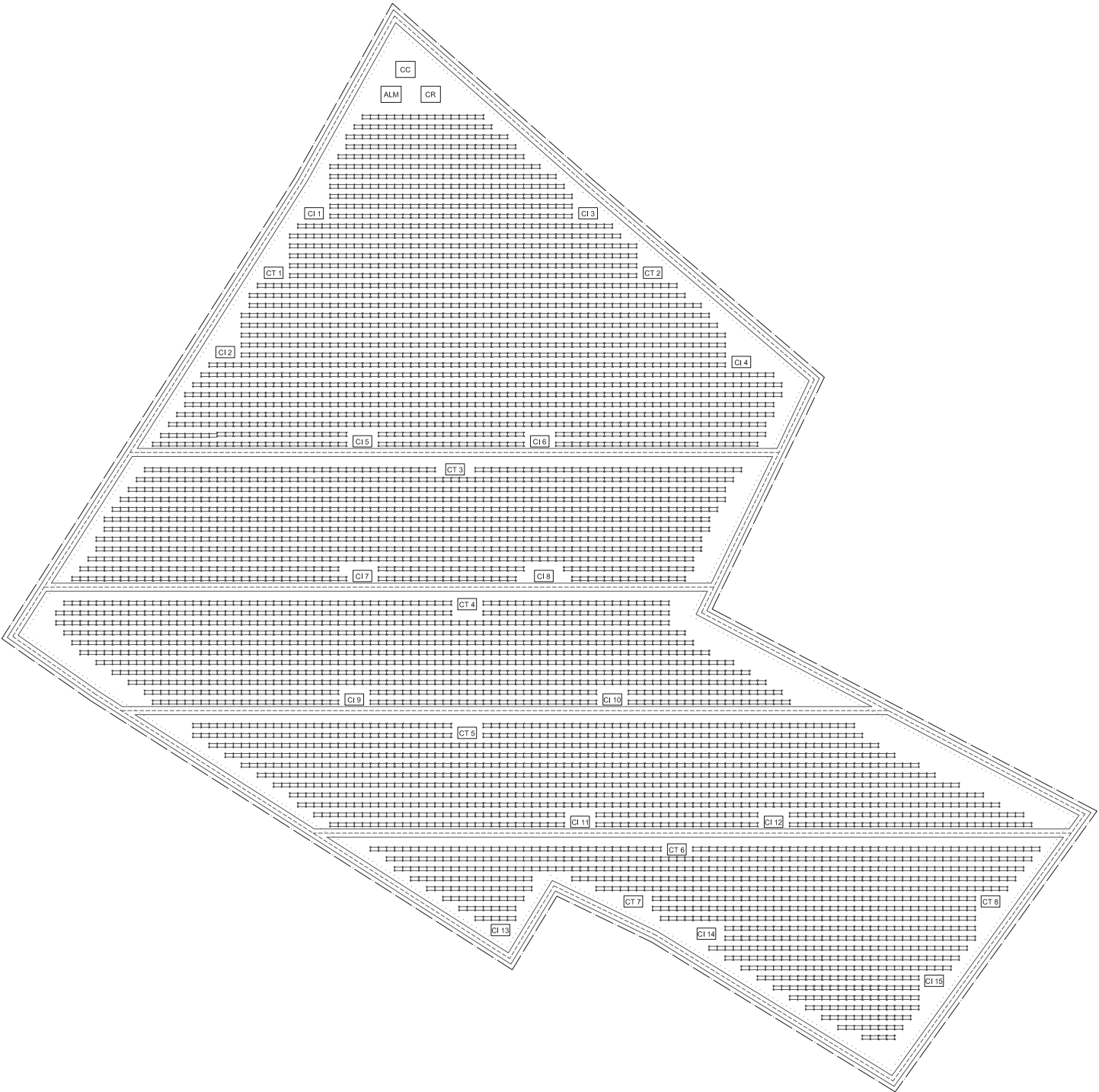
En la planta en estudio, cada Centro de Transformación contiene un transformador, y tiene asociados 2 Centros de Inversión. Por tanto, por cada transformador se dispone de 4 inversores. Al instalarse 30 inversores, uno de los Centros de Transformación tendrá un único Centro de Inversión asociado, con sus 2 inversores en lugar de 4.

La Subestación podría estar dentro de la propia planta o ser externa, siendo el último caso el del proyecto analizado. Debido a que no se necesita monitorización de la subestación, solamente de la salida de energía hacia ella, no se requiere analizar la situación de la Subestación. En todo caso dispondría de su propio sistema de monitorización independiente fuera del alcance de este Proyecto. Se supondrá que se dispone de una Subestación eléctrica en las cercanías de la planta.

En la zona más septentrional de la planta se encuentra el Centro de Reparto (CR), situado en las proximidades del Centro de Control (CC). Cerca de estos dos centros se sitúa el Almacén.

En el plano 1 de la planta se puede observar la situación donde se emplazará cada Centro de Transformación y cada Centro de Inversión. Se puede observar también el emplazamiento del Centro de Reparto, el Centro de Control y el Almacén. Esta estructura se observa de forma más clara en el plano 3.

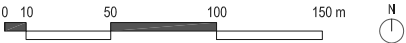
La estación meteorológica se instalará a escasos metros del Centro de Control, y por tanto a efectos prácticos se considera instalada en el propio Centro de Control, no mostrándose en los planos de la planta.

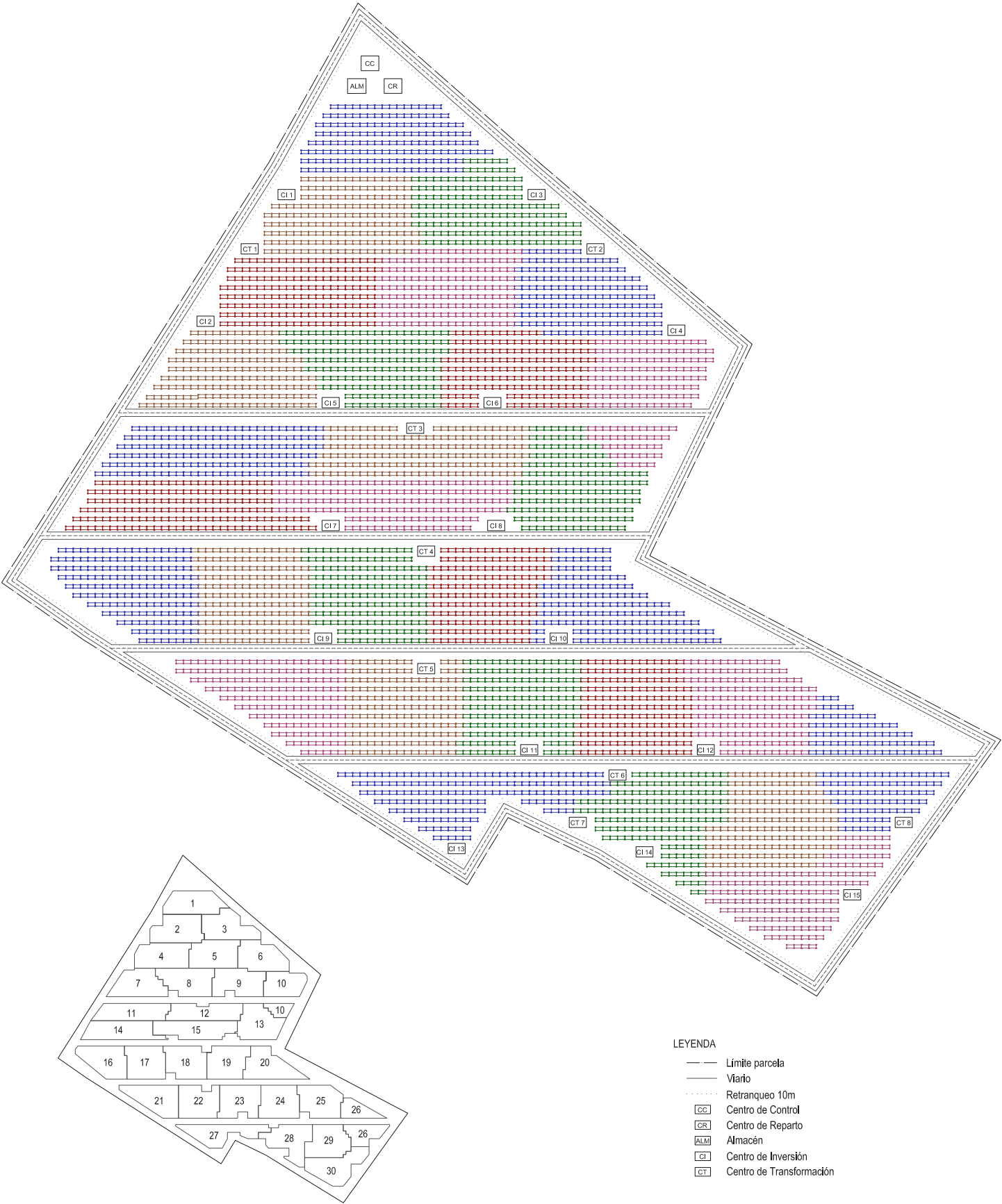


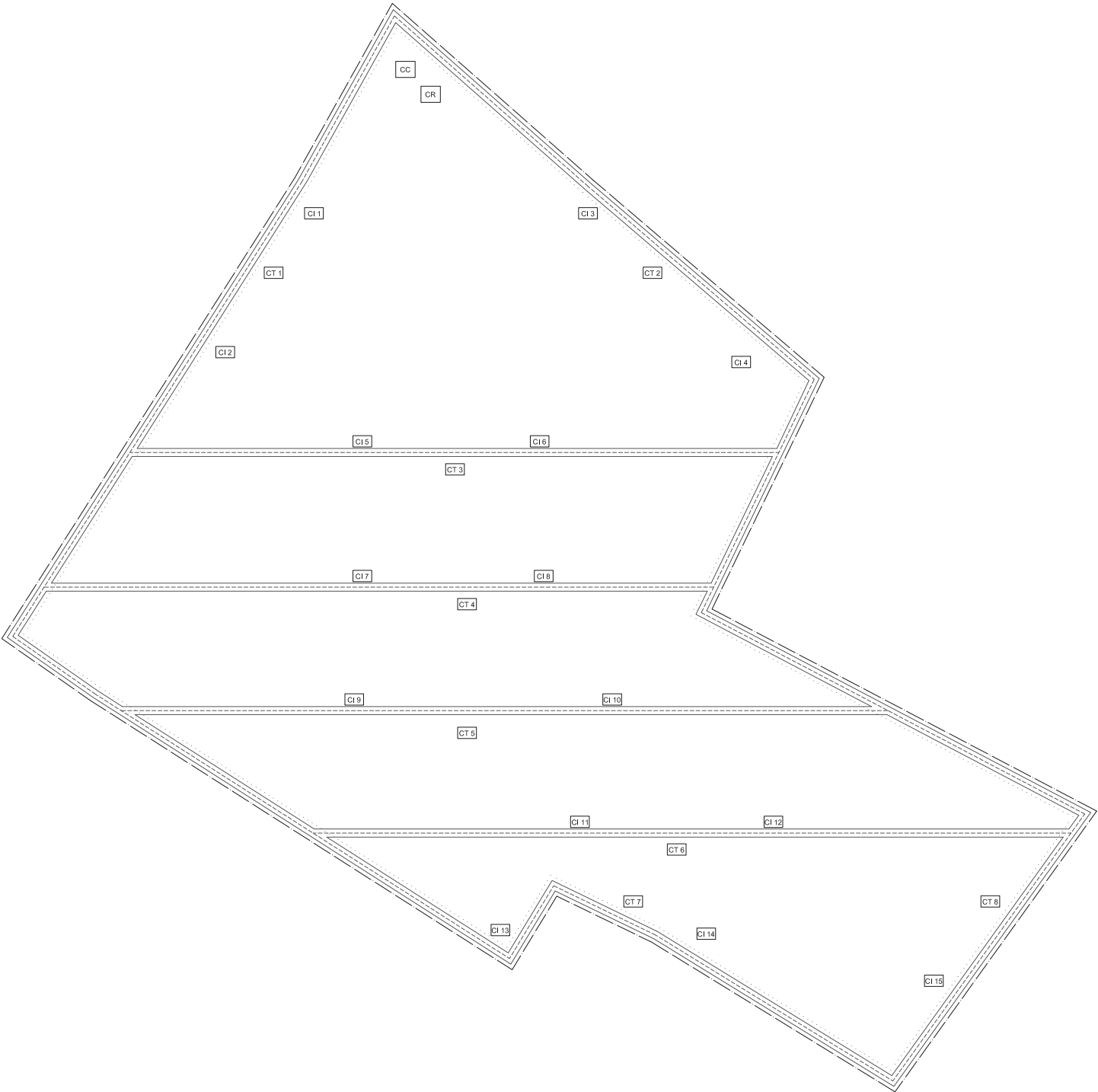
PLANO 1

ESTRUCTURA DE LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA

- LEYENDA
- Límite parcela
 - - - Viario
 - Retranqueo 10m
 - CC Centro de Control
 - CR Centro de Reparto
 - ALM Almacén
 - CI Centro de Inversión
 - CT Centro de Transformación







- LEYENDA
- Límite parcela
 - Vialito
 - Retranqueo 10m
 - CC Centro de Control
 - CR Centro de Reparto
 - CI Centro de Inversión
 - CT Centro de Transformación



4.3. Captación de señales en la planta

Una vez estudiado en capítulos anteriores el equipamiento que se suele utilizar para la captación de medidas en este tipo de instalaciones, y los puntos de la planta donde resulta conveniente tomar medidas, se puede diseñar el sistema de captación a instalar y configurar.

Mediante el sistema concreto de captación de señales que se implemente se conseguirá una monitorización personalizada de los parámetros convenientes.

A continuación se analizará el equipamiento concreto a instalar para la toma de medidas en los puntos de interés de la planta.

4.3.1. Centros de Inversión

Para la toma de medidas de parámetros relacionados con el Centro de Inversión se instalarán los siguientes equipos:

- 16 transformadores de intensidad toroidales (8 en cada inversor), para medir la corriente en cada entrada de línea de las cajas DC al inversor.
- 2 captador de tensiones, para la medida de la tensión en DC agregada para todas las entradas de línea de cada inversor.
- 1 sonda de temperatura, para medir la temperatura ambiente del Centro de Inversión.
- 3 captadores de señales analógicas, para recoger las señales medidas por los equipos enumerados anteriormente, utilizándose uno para cada inversor y otro para la sonda de temperatura.
- 2 analizadores de red, para conocer el comportamiento eléctrico a la salida de cada inversor.

4.3.2. Centros de Transformación

Para la toma de medidas de parámetros relacionados con el Centro de Transformación se instalarán:

- 1 sonda de temperatura, para medir la temperatura ambiente del Centro de Transformación.
- 1 captador de señales analógicas, para recoger las señales medidas por la sonda de temperatura anterior.
- 1 captador de señales digitales, para recoger las señales de estado de los seccionadores de celdas y el estado de los interruptores de BT.

4.3.3. Estación Meteorológica

La estación meteorológica consiste en un dispositivo que integra varios módulos y que proporciona directamente a la red las medidas de las variables meteorológicas pre-configuradas, por lo que no se necesita ningún equipamiento externo de medición.

Cada uno de los módulos que integra, se ocupa de la medición de ciertos parámetros, procesándolos y poniéndolos a disposición del usuario. En este Proyecto se tratará como un dispositivo de captación independiente que no se encuentra emplazado en ningún recinto en particular, pero como se sitúa junto al centro de control, a efectos prácticos y de comunicaciones, se considerará que está en su interior (aunque evidentemente, esto es solo desde el punto de vista de las comunicaciones).

4.3.4. Centro de Reparto

Para la adquisición de medidas de parámetros relacionados con el Centro de Reparto se instalarán:

- 1 sonda de temperatura, para medir la temperatura ambiente existente en el Centro de Reparto.
- 3 contadores de media tensión, para conocer el comportamiento eléctrico de las líneas de media tensión.
- 1 captador de señales analógicas, para obtener la temperatura de la sonda instalada, y la tensión de los secundarios de los Transformadores de Tensión.
- 1 captador de señales digitales, para recopilar el estado de las celdas de Protección General y de los secundarios de los Transformadores de Tensión, y la señal de alarma de intrusismo (en caso de que se habilite este tipo de alarma).

La finalidad de que se instalen 3 contadores de media tensión es tener uno que actúe como principal, realizando las medidas que controlarán los organismos estatales, otro que actúe como contador de reserva en caso de indisponibilidad del principal, para siempre tener un control de forma externa de la producción y consumo de la planta, y un tercero de “servicios auxiliares”, que se utilizará para llevar un control local e interno del funcionamiento de la planta.

Capítulo 5.

Diseño del sistema de comunicaciones

5.1. Consideraciones generales de diseño

En todo diseño de un sistema de comunicaciones se deben tener en cuenta numerosos factores a la hora de escoger una solución a implementar.

Uno de los factores determinantes en la elección de una solución óptima del sistema de comunicación es la forma de implementar dicho sistema, es decir, si el diseño se realiza para una planta que todavía no ha sido construida o si por el contrario ya existe la planta y se va a instalar el sistema de comunicaciones a posteriori. En este último caso podría ser que la planta sea de nueva construcción y la compañía propietaria de la planta haya decidido diseñar el sistema de comunicación a posteriori, o podría ocurrir que la planta no sea de nueva construcción y ya contase con su sistema de comunicación y hubiese que modificarlo o sustituirlo por otro de funcionamiento completamente distinto para aumentar su fiabilidad y rendimiento.

Las ventajas de diseñar un sistema de comunicaciones para una planta ya construida son la disponibilidad del escenario real para realizar las mediciones que se estimen oportunas y la seguridad de que no se realizarán modificaciones en la distribución de equipamiento eléctrico en su instalación (independientemente de las posibles ampliaciones que se podrían realizar en el futuro, que siempre pueden darse y se debe intentar tenerlas previstas).

La desventaja principal de implementar un diseño a una planta ya construida es la menor flexibilidad a la hora de escoger una solución, debido a que se debe intentar que su instalación sea más sencilla, y se adapte a la instalación ya efectuada (tanto eléctrica como de posibles sistemas de comunicaciones anteriores) y la previsión realizada por los instaladores. Si la solución escogida necesita la realización de una obra compleja y utilización de maquinaria puede no ser viable, puesto que se podría dañar el equipamiento eléctrico ya presente en la planta que conllevarían pérdidas económicas tanto por el propio equipamiento y su reparación como por una parada en la producción de la planta.

En el caso del Proyecto actual el diseño se realiza “sobre el plano”, puesto que la planta no ha sido construida todavía. Esta forma de actuar exige que se proporcione información suficiente sobre la instalación del equipamiento de la planta y una cierta seguridad de que no se tiene previsto que se realicen modificaciones drásticas en el diseño de la planta.

Cuando el diseño se realiza de este modo, la gran ventaja es que se dispone de una mayor flexibilidad en la elección de la solución a implementar, dependiendo en menor medida de la instalación realizada en la construcción de la planta. Puesto que la planta no ha sido construida, a la hora de realizar la obra para su construcción se tendrá también en cuenta el diseño realizado del sistema de comunicación, por lo que la flexibilidad en nuestro diseño es mayor.

Otra gran ventaja de esta forma de implementar el sistema de comunicación es que se instalará el sistema de comunicación al mismo tiempo que el equipamiento eléctrico, pudiendo tener un control y manejo de éste desde el primer momento y controlando desde el principio la producción energética de la planta.

Una de las desventajas principales de diseñar el sistema de comunicaciones antes de la construcción de la planta es la imposibilidad de tomar ciertas medidas, como la generación de posibles campos electromagnéticos y ruidos de origen eléctrico por parte del equipamiento de alta tensión de la planta que afecten a las comunicaciones. Las mediciones que si se pueden realizar (al igual que si la planta ya estuviese construida) son las de parámetros externos a la planta propias de la zona geográfica, tanto dependientes del terreno donde se situará la planta fotovoltaica como dependientes de edificaciones e instalaciones en los alrededores (tales como radares, otros sistemas de comunicación, y equipamiento eléctrico de alta tensión cercano a la planta).

Para el diseño del sistema de comunicaciones de la planta solar fotovoltaica propuesta en este Proyecto se han valorado diferentes tecnologías que se encuentran en la actualidad en el mercado contemplando los diversos factores que afectan a su implementación en una instalación de este tipo.

5.2. Conexión mediante Ethernet

Se podría pensar que una solución económica y suficientemente fiable sería utilizar cable de Ethernet (del que se puede visualizar un ejemplar en la figura Fig. 6) [26] para todas las comunicaciones en la planta, pero sería un grave error utilizar una solución basada únicamente en esta tecnología. Sí es cierto que se utilizará obligatoriamente para conexionado cercano de equipos, pero no es válido para el resto de enlaces en planta.



Fig. 6. Cable Ethernet.

Se debe considerar la limitación que impone el cable de Ethernet para distancias superiores a 100 metros debido a la degradación y atenuación de la señal en la transmisión. Esto significa que si los nodos de la red están muy alejados (muy probable en plantas solares extensas) se

necesitarán numerosas estaciones repetidoras, encareciendo el presupuesto del Proyecto y dificultando la implementación de la solución.

Existe un problema aún mayor que el explicado anteriormente para la utilización de cable de Ethernet en escenarios de este tipo: la **inducción**. En una planta solar fotovoltaica, como es lógico, hay numerosas líneas de baja, media y alta tensión que conducirán la energía eléctrica producida en las células fotovoltaicas para su distribución y almacenaje. Estas líneas recorren toda la planta conectando los centros de transformación e inversión, al igual que ocurriría con las líneas de comunicación cableadas. En definitiva, se tendría las líneas de comunicación cableadas y las líneas de tensión en paralelo a una distancia relativamente cercana, lo que desencadenaría el fenómeno de inducción eléctrica sobre las líneas de comunicación introduciéndose en ellas un gran número de interferencias y elevado ruido, sobre todo en cables cercanos a las líneas de media y alta tensión.

No se puede permitir ni considerar válido un diseño de una red de comunicación a sabiendas de que se inducirá en el sistema una gran cantidad de ruido dificultando, o incluso imposibilitando, la inteligibilidad de los datos transmitidos. Por este hecho y el anteriormente explicado se desecha la posibilidad de utilizar un sistema basado únicamente en tecnología Ethernet, reservando este tipo de cableado únicamente para el conexionado de equipos de comunicaciones muy cercanos, y poniendo especialmente atención en alejarlos lo máximo posible del cableado y equipamiento eléctrico de la planta.

5.3. Fibra Óptica

Existe la posibilidad de utilizar en instalaciones de este tipo una red cableada solventando los dos problemas considerados anteriormente para la tecnología Ethernet contemplando una solución basada en **fibra óptica** [27].

La fibra óptica (de la que se puede visualizar un ejemplar en la figura Fig. 7) tiene un mayor alcance para la transmisión de señal sin apenas degradación, lo que permitiría cubrir una extensión amplia de terreno como es el caso de una planta solar fotovoltaica sin necesidad de la utilización de repetidores. Esto se traduce en un gran alcance con un único segmento de fibra, con poca atenuación y con una gran velocidad de transmisión (mucho mayor que la que se podría conseguir con cable de Ethernet o tecnologías similares).

Lo más importante de esta tecnología es la ausencia del fenómeno de inducción eléctrica, puesto que la señal no se transmite mediante señales eléctricas, pudiendo utilizar una red cableada en paralelo a las líneas de tensión sin ningún problema de ruido ni interferencias.



Fig. 7. Fibra óptica.

Los principales problemas de la implementación de este tipo de solución cableada son la dificultad de instalación y la falta de flexibilidad del sistema.

Como cualquier red cableada es conveniente soterrarla, por lo que se deberá abrir el terreno para ello, encareciendo el presupuesto del Proyecto. Si se realiza en plantas ya construidas aparece un factor adicional de riesgo al necesitar introducir maquinaria en planta, pudiendo causar alguna avería en el equipamiento o en el cableado eléctrico ocasionando pérdidas económicas por la propia avería y por la posible alteración de la producción de energía. También se debe tener en cuenta el peligro eléctrico para los propios trabajadores si se daña el cableado de planta o ciertos equipos de producción.

Además, una vez desplegada la fibra y correctamente soterrada, cualquier modificación en la topología de la red puede ser costosa y complicada, porque podría ser necesario volver a abrir el terreno para realizar posibles modificaciones y ampliaciones. El mismo problema surgiría para una avería en el cableado. Por esta falta de flexibilidad en la red, si la solución que se implementa está basada en fibra óptica, se debe intentar conocer con exactitud la estructura final de la planta y la situación de todo el equipamiento eléctrico y de comunicaciones para que la probabilidad de realizar modificaciones disminuya. Además, sería conveniente prever posibles modificaciones o ampliaciones en la red, pudiendo dejar facilitado el despliegue de la fibra necesaria para ello.

En el caso de la instalación proyectada en este documento se podría implementar perfectamente una solución cableada basada en fibra óptica, sin encontrarnos excesivos problemas para su instalación puesto que el diseño se está realizando sobre plano y sin estar la planta construida, pudiéndose aprovechar la obra a realizar para las instalaciones eléctricas de la planta para desplegar la fibra necesaria. Pero se optará por una solución inalámbrica para asegurar una mayor flexibilidad para modificaciones, ampliaciones y reparación de averías.

5.4. WiFi

Una red de comunicaciones basada en tecnología inalámbrica asegura la posibilidad de realizar variaciones en la topología de red y de la estructura de la planta con gran libertad con la finalidad de mejorar el rendimiento, ampliar la planta o cualquier otro motivo. Para cualquier modificación solamente habrá que cambiar de situación los equipos de radiocomunicación o añadir nuevos pero sin necesidad de abrir el terreno. Además, en el caso de avería, la reparación se realiza de una forma más sencilla, puesto que el equipamiento está al alcance de los técnicos sin apenas necesidad de realizar obra y pudiendo incluso sustituir el equipo estropeado por otro de repuesto de forma sencilla y en poco tiempo.

Al utilizar una solución inalámbrica, se podrá realizar la instalación del equipamiento de telecomunicaciones al mismo tiempo que la del equipamiento eléctrico o posteriormente, puesto que no supondrá un gran problema, aunque es cierto que las estructuras para situar los equipos de radiocomunicación conviene instalarlas junto con el despliegue eléctrico.

Al utilizar tecnología WiFi (aplicada a puntos de acceso, como el mostrado en la figura Fig. 8) para la implementación del sistema de comunicaciones pueden aparecer problemas de falta de cobertura en algunas zonas que estén más alejadas, solventándose con la introducción de más puntos de acceso WiFi dejando una menor distancia entre ellos. Esta solución, compensaría la posible ausencia de cobertura pero complicaría la topología de red y aumentaría el número de equipos a instalar, mantener y monitorizar.



Fig. 8. Punto de acceso WiFi.

No es complicado encontrarse con la situación de falta de cobertura, puesto que el alcance de la tecnología WiFi puede ser escaso para ciertos entornos (aunque el alcance depende en gran medida del tipo de WiFi utilizado y del equipamiento que se decida instalar). Hay que contar con la posibilidad de que la señal wifi no llegue de la forma esperada a ciertos puntos de la planta, puesto que las superficies de los módulos solares de los que se instalan por la mayor parte del terreno de la planta poseen superficies muy reflectantes, y pueden aumentar el alcance o disminuirlo en algunas zonas al desviar la trayectoria de las ondas de radio.

La introducción de más puntos de acceso en la planta para solventar este problema puede también presentarse muy complicado, puesto que podría hacer falta instalar puntos de acceso

en medio de las parcelas solares y complicaría enormemente la instalación de los puntos de acceso y su cableado.

Además, al aumentar la distancia entre puntos de acceso se disminuye la velocidad de transmisión, pudiendo ralentizar enormemente las comunicaciones en la planta limitando la monitorización y control de la misma.

5.5. WiMAX

Otra tecnología inalámbrica que puede utilizarse en este tipo de instalaciones consiguiendo una gran flexibilidad en la red de comunicaciones es WiMAX.

Al utilizar tecnología WiMAX para la implementación del sistema de comunicaciones ya no existe problemas de distancia ni ausencia de cobertura, puesto que una de sus características principales es su gran alcance.

Teniendo en cuenta que el alcance de WiMAX es mucho mayor que la extensión del terreno ocupada por la planta solar proyectada, y más aún en instalaciones en las que existe línea de visibilidad directa en los enlaces, es poco probable que aparezcan desvanecimientos de señal tan grandes para dificultar la comunicación inalámbrica.

Un factor importante presente en las plantas solares que puede influir en este tipo de tecnología es el calentamiento del aire ocasionado por la temperatura que alcanzan los módulos solares. El calentamiento del aire seco sobre una superficie más fría puede provocar el efecto de propagación por conductos (*ducting*) en el radioenlace WiMAX ocasionando irregularidades en la trayectoria de las ondas de transmisión y pudiendo desembocar en desvanecimientos de señal.

Al tener tan poca distancia en los enlaces que se establecerán en la planta, es muy poco probable que afecte el efecto anterior y por tanto que se produzcan desvanecimientos de señal por esa razón, pero si se aumentase mucho la distancia de algún enlace debería tenerse en cuenta.

Tampoco habrá problemas con la velocidad y el ancho de banda, puesto que WiMAX alcanza una velocidad de transmisión de 75 Mbps (superior que la velocidad en WiFi, excepto si éste utiliza el estándar IEEE 802.11n) y en tan poca distancia apenas disminuirá.

Incluso el gran alcance de esta tecnología, proporcionaría la posibilidad de ampliar la planta utilizando poco equipamiento adicional, siendo muy probable la obtención de buena cobertura en los nuevos puntos con necesidad de acceso a la red.

Una gran ventaja de esta tecnología a la hora de ampliar la planta es la interoperabilidad, que permitirá introducir equipamiento de fabricantes distintos, proporcionando una gran flexibilidad a la hora de comprar equipamiento para la ampliación.

El problema de utilizar tecnología WiMAX para la red de comunicaciones es la necesidad de un gran número de estaciones suscriptoras (de las que se puede observar un ejemplar en la figura Fig. 9), una para cada nodo al que se desee llegar, encareciendo también la instalación y sobredimensionando enormemente la instalación, puesto que se pueden tener estaciones WiMAX muy cerca estando preparadas para largas distancias.



Fig. 9. Suscriptora WiMAX.

5.6. Solución final

La solución final a implementar está basada en tecnología inalámbrica, puesto que se adapta de forma óptima a las necesidades de la red a diseñar, dotando al sistema de gran flexibilidad frente a variaciones de topología, avería de equipamiento y crecimiento de la planta.

Se podría utilizar una solución basada solamente en WiMAX o solamente en WiFi, pero teniendo en cuenta las ventajas y desventajas estudiadas es más conveniente utilizar una solución mixta. Por tanto, para la planta proyectada se optará por una solución mixta de WiMAX y WiFi aprovechando las ventajas de ambas tecnologías, e intentando minimizar sus desventajas.

Se utilizará WiMAX para comunicaciones de larga distancia, y WiFi para distancias cortas. De esta manera se tendrá en la planta una organización basada en agrupaciones WiFi comunicadas entre sí mediante tecnología WiMAX a través del Centro de Control.

Con la solución propuesta se asegura una excelente cobertura en todos los puntos de la planta con necesidad de acceso a la red, evitando encarecer demasiado el Proyecto minimizando el número de estaciones suscriptoras WiMAX (que por norma general son más costosas que los puntos de acceso WiFi).

La velocidad de transmisión en las agrupaciones WiFi apenas disminuye, puesto que las distancias de separación entre los puntos de acceso no es grande, y lo mismo ocurre con los enlaces WiMAX situados a poca distancia para el alcance del que dispone dicha tecnología y

estando en una situación de visibilidad directa en los enlaces. Esto permite poder ampliar la planta sin necesidad de introducir nuevas estaciones base, porque se tendrá bastante alcance adicional. Además, la calidad del enlace que se proporcionará impedirá que afecten a las comunicaciones muchos de los factores que podrían influir, como es el caso del efecto de propagación por conductos.

La utilización de la solución definida para las comunicaciones en una planta solar implica la posibilidad de crecimiento fácil de dicha planta y la flexibilidad para la modificación de la instalación eléctrica que, como ya se ha comentado, es la ventaja principal de la utilización de tecnología inalámbrica. Además, permite la incorporación de servicios en movimiento mediante WiMAX si se utiliza el estándar 802.16e.

Es importante determinar los puntos de la planta solar fotovoltaica donde se necesitan recoger medidas y disponer de acceso a la red. Estos puntos ya han sido analizados y comentados anteriormente, pudiéndose observar claramente en el plano 3.

Los motivos de necesitar acceso a la red en los puntos de la planta enumerados son la toma de medidas en esos puntos, envío de medidas tomadas en puntos cercanos, y/o necesidad de monitorización y control remoto desde esos puntos.

Las agrupaciones WiFi se utilizarán para comunicar cada Centro de Transformación con sus Centros de Inversión asociados (o el CI asociado en el caso del que solo tiene uno), y el Centro de Reparto con el Centro de Control. La tecnología WiFi en este Proyecto se implementará mediante WDS (*Wireless Distribution System*).

El concepto de *agrupación* en lo concerniente a la red de comunicaciones en la planta proyectada define el conjunto de varios puntos de acceso WiFi, asociados mediante WDS, que congregan el resto de equipamiento instalado en los emplazamientos de dichos puntos de acceso. Para disponer de una organización mejor en la topología de red, se numerarán las agrupaciones identificándolas para la implementación de la red y sirviendo para la monitorización del equipamiento.

Debido a que el nodo más importante de la red es el Centro de Control, será desde donde partan las comunicaciones al resto de nodos. La comunicación entre el Centro de Control y cada *agrupación*, con un CT como núcleo, se realizará mediante enlaces WiMAX, pudiéndose utilizar el estándar 802.16d sin movilidad puesto que no se necesita en este tipo de instalaciones al estar todas las estructuras y equipamiento a utilizar en la misma posición. No obstante, se puede utilizar equipamiento que soporte movilidad por si se decide implementar algún servicio en el futuro que lo necesite, ya que adaptar la red en el futuro puede acarrear un gran gasto económico y posibles pérdidas de servicio temporales.

La estación base WiMAX debe situarse en el Centro de Control de la planta solar fotovoltaica constituyendo una red de comunicaciones punto – multipunto al asociarse a ella las estaciones suscriptoras. En cada Centro de Transformación se colocará una estación suscriptora que se

asociará a la estación base y permitirá la comunicación de los Centros de Transformación y de Inversión con el Centro de Control, y por tanto con el resto de la planta. Se puede observar esta estructura de red en el diagrama de comunicaciones representado en la figura Fig. 10, y físicamente en el plano 4.

Para la colocación de la estación base WiMAX en el centro de control es conveniente instalar una torreta de comunicaciones o un mástil con la intención de elevar la estación base y asegurar una buena recepción de señal en las estaciones suscriptoras.

Se debe tener en cuenta el tipo de antena que se conectará a la Estación Base. En realidad, se podría utilizar una Estación Base con antena integrada, pero deja poca flexibilidad a la hora de sustituir la antena por problemas de comunicación o por crecimiento de la planta, por lo que se utilizará una antena externa.

En este caso, es factible utilizar una antena con una directividad de 90° orientada hacia la parte meridional de la planta, ya que cubre la totalidad de la superficie de la planta.

Las estaciones suscriptoras deben instalarse en el exterior de cada Centro de Transformación elevándolas para mejorar la cobertura y, en consecuencia, el intercambio de datos con la estación base.

Tras realizar el diseño de los enlaces WiMAX siguiendo la distribución punto a multipunto, de la que se puede observar un diagrama en la figura Fig. 11, se podrá establecer comunicación entre el Centro de Control y los Centros de Transformación.

Cada Centro de Transformación actuará de núcleo de una agrupación WiFi para establecer comunicación con los dos Centros de Inversión que tiene asociados (o con el Centro de Inversión asociado en el caso de la agrupación 8, con el CT-8 como núcleo) como se puede observar en la figura Fig. 12 y conseguir llegar a todos los puntos de interés de la planta. Por tanto, se tendrán agrupaciones WiFi de 3 nodos (o 2 nodos en la agrupación 8), situando en el Centro de Transformación el punto de acceso maestro (o punto de acceso WDS) y en cada Centro de Inversión de la agrupación un punto de acceso esclavo (o estación WDS).

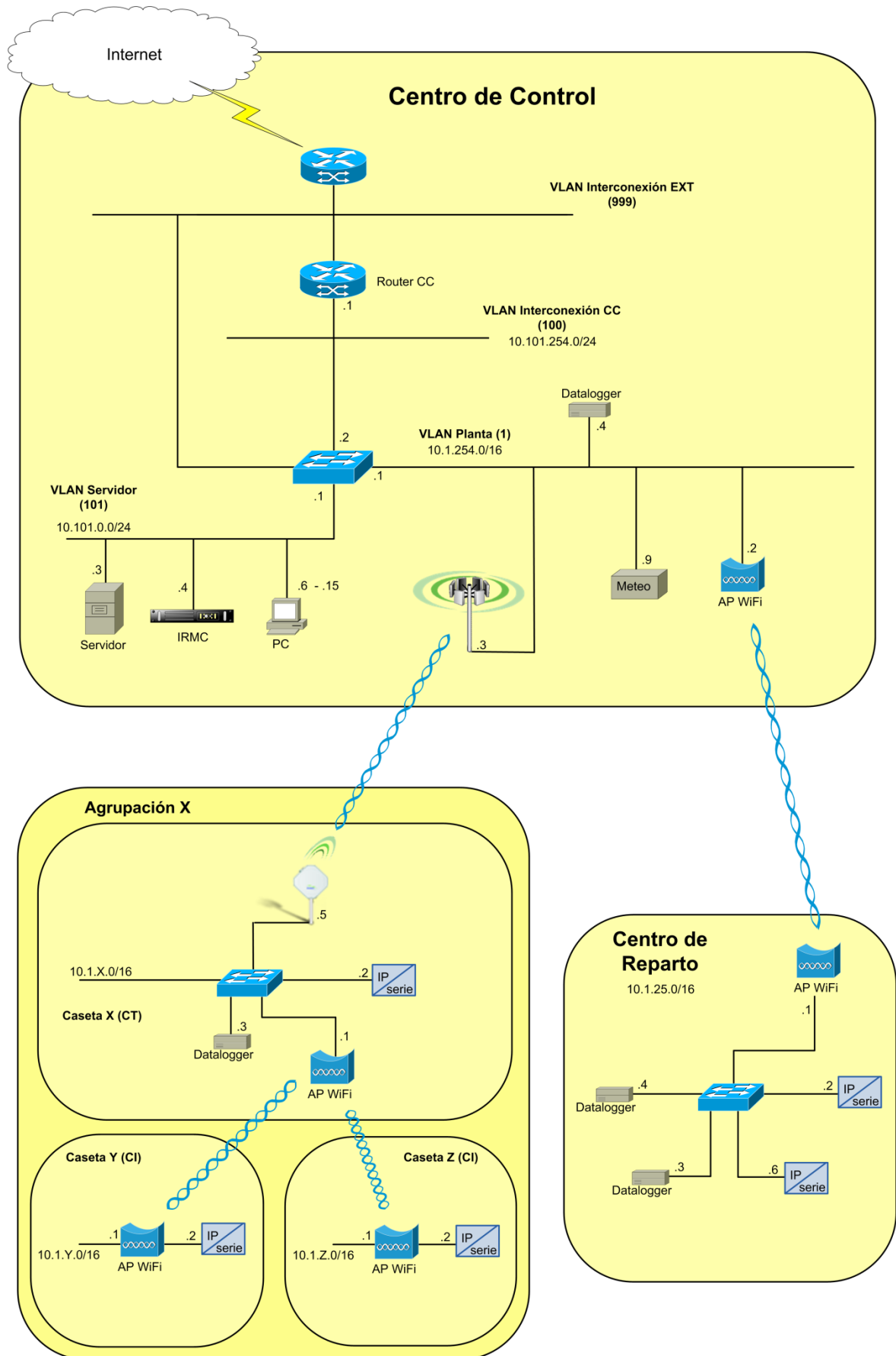


Fig. 10. Diagrama de comunicaciones de la planta solar fotovoltaica.

Punto a Multipunto WiMAX

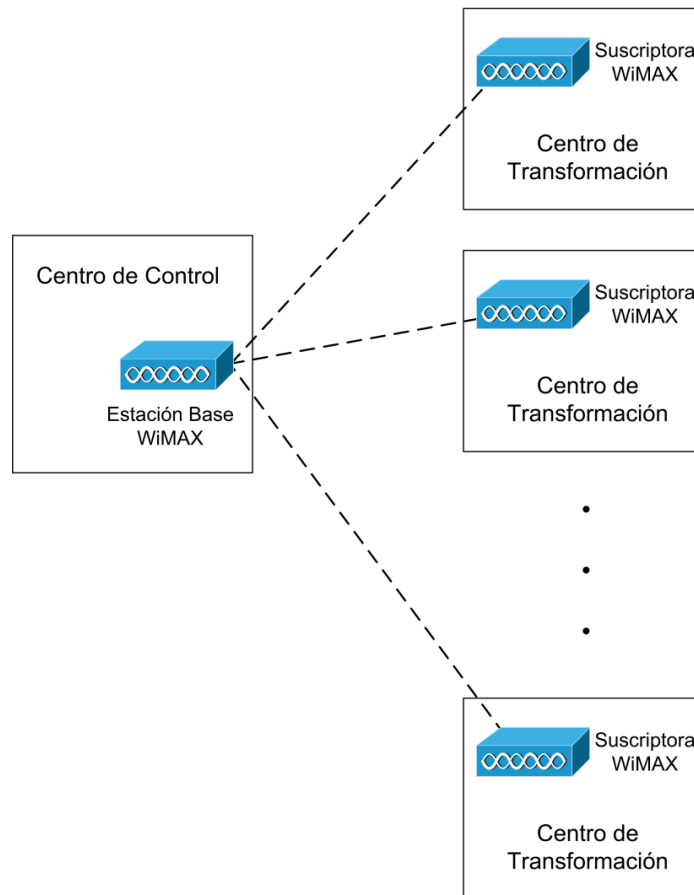


Fig. 11. Diagrama del enlace WiMAX punto a multipunto de la planta.

Agrupaciones Wi-Fi

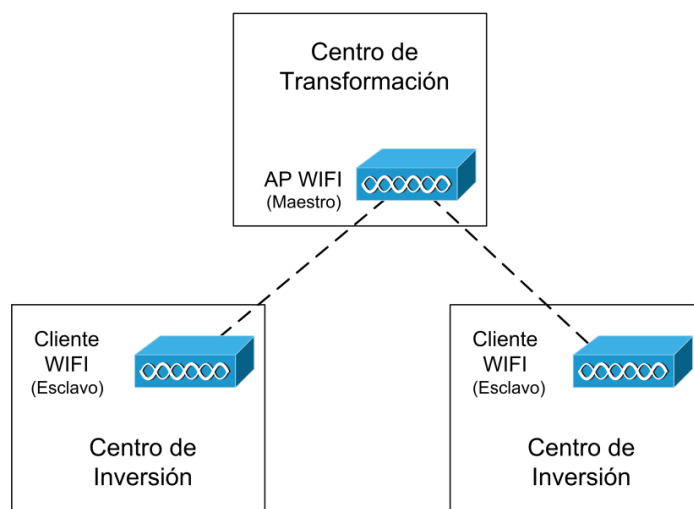


Fig. 12. Diagrama de asociación WiFi en una agrupación de la planta.

La estructura de los enlaces WiFi sobre el terreno se puede observar de forma más clara en el plano 5.

Para comunicar el Centro de Reparto con el Centro de Control, debido a su cercanía, se puede utilizar otra agrupación WiFi de 2 nodos, colocando el punto de acceso maestro en el Centro de Control y el punto de acceso esclavo en el Centro de Reparto.

Los puntos de acceso WiFi se deberán situar en el exterior de los centros colocándolos en la parte más propicia para obtener una mejor cobertura, evitando de esta manera la atenuación de la señal al tener que atravesar muros, por lo que tienen que estar preparados para exteriores.

Teniendo en cuenta, para el equipamiento, los requisitos y características deseadas debatidos anteriormente, se pueden utilizar para el implementar el sistema de comunicaciones los equipos específicos que se comentarán a continuación. Evidentemente, se pueden utilizar otros equipos de otro fabricante con características similares, pero puede ser representativo analizar unos específicos.

Una estación base apropiada para el diseño que se está realizando en el Proyecto sería el modelo XTRM-BS-1DIV de la serie BreezeMAX Extreme 5000 del fabricante Alvarion [28], que se puede visualizar en la figura Fig. 13 y de la que se puede destacar las especificaciones técnicas enumeradas en la Tabla 7.



Fig. 13. Estación base WiMAX utilizada (BreezeMAX Extreme 5000 de Alvarion).

Este modelo de estación base se puede adquirir en modo normal o básico, dependiendo del número de estaciones suscriptoras que queramos asociar (el modo básico limita el número de suscriptoras a 20). En el caso del Proyecto actual el número de suscriptoras es bastante bajo, por lo que será más que suficiente con el modo básico, incluso permitiendo futuras ampliaciones.

Si la ampliación llegase a un punto en el que el número de suscriptoras fuese mayor a 20, se podría subir la versión del equipamiento pagando una licencia para ello, consiguiendo una asociación de 250 suscriptoras.

Tabla 7. Especificaciones técnicas de la estación base WiMAX utilizada.

Estación Base - BreezeMAX Extreme 5000 (XTRM-BS-1DIV)	
Frecuencia	5470-5950 MHz
BW canal	5 MHz, 10 MHz, 2x10 MHz
Opciones de configuración	Single sector MIMO Single sector SISO Dual sector SISO
Potencia de transmisión	21 dBm
Ganancia de la antena	17 dBi (Antena externa)
Sensibilidad	-97 dBm
Modulaciones	QPSK, QAM16, QAM64

Como se ha preferido utilizar una antena externa, hay que seleccionarla independientemente. Se utilizará una antena sectorial de 90° del fabricante Alvarion, con polaridad vertical, y una ganancia de 17 dBi.

Se puede observar que la estación base utilizada soporta técnicas MIMO, pudiendo aportar al sistema una gran robustez o una mayor velocidad. Esto se debe a que, mediante MIMO, la transmisión a través de varios canales permite operar a la antena en dos modos diferentes, diversidad espacial y multiplexado espacial (o capacidad).

Si la transmisión se efectúa en modo multiplexado, se utilizan los dos canales de transmisión para enviar información diferente, aumentando la tasa binaria. Y si la transmisión se realiza en modo diversidad, se transmite la misma información por ambos canales, aumentando la robustez del sistema pudiendo sufrir perturbaciones los canales de forma independiente.

El modelo de estación suscriptora que se podría utilizar es el XTRM-SU-OD-1D-4.9-6-A de la serie BreezeMAX Extreme 5000 del fabricante Alvarion, que se puede visualizar en la figura Fig. 14 y de la que se puede destacar las especificaciones técnicas enumeradas en la Tabla 8.

Se puede observar que el equipamiento WiMAX seleccionado está certificado con el estándar 802.16e, es decir, soportan movilidad. Este hecho proporciona la opción de incorporar nuevos servicios en la planta solar no previstos hasta ahora, dotando de gran flexibilidad al sistema de comunicaciones. Además, los equipos están preparados para exteriores, factor imprescindible para su instalación en planta.



Fig. 14. Estación suscriptora WiMAX utilizada (BreezeMAX Extreme 5000, de Alvarion)

Tabla 8. Especificaciones técnicas de la suscriptora WiMAX utilizada.

Suscriptora - BreezeMAX Extreme 5000 (XTRM-SU-OD-1D-4.9-6-A)	
Frecuencia	4900-5950 MHz
BW canal	5 MHz, 10 MHz
Potencia de transmisión	21 dBm
Ganancia de la antena	16 dBi (Antena integrada)
Sensibilidad	-96 dBm
Modulaciones	QPSK, QAM16, QAM64

Como punto de acceso WiFi se puede utilizar el modelo PicoStation2 del fabricante Ubiquiti Networks [29], que se puede visualizar en la figura Fig. 15 y de la que se puede destacar las especificaciones técnicas enumeradas en la Tabla 9.



Fig. 15. Punto de acceso WiFi utilizado (PicoStation2, de Ubiquiti)

El fabricante de este modelo estima un alcance de 50 metros en interiores y 150 metros en exteriores, adaptándose muy bien al Proyecto actual, puesto que se está trabajando en exteriores y se tendrán distancias menores a 150 metros para enlaces WiFi. No obstante, si se decidiese instalar el dispositivo en el interior del centro en el que se ubique, o se estimase que las interferencias de equipamiento eléctrico (como es el caso de los inversores) fuesen

grandes, se podría utilizar el modelo PicoStation2 HP del mismo fabricante, que dispone de una potencia de transmisión de 29 dBm y proporciona un alcance en exteriores de 500 metros.

Teniendo en cuenta que en el Proyecto actual se va a colocar en el exterior de los centros, se ha escogido un dispositivo preparado para este tipo de entornos. Los puntos de acceso PicoStation2 están preparados para condiciones climatológicas extremas, soportando temperaturas entre -20°C y 70°C.

Tabla 9. Especificaciones técnicas del punto de acceso WiFi utilizado.

Punto de Acceso WiFi – Ubiquiti PicoStation2	
Frecuencia	2412-2462 MHz
Ancho de banda del canal	5 MHz, 10 MHz, 20 MHz
Modos de funcionamiento	IEEE 802.11b/g
Potencia de transmisión	20 dBm
Ganancia de la antena	6 dBi (U.S), 0 dBi (EU)
Sensibilidad	-95 dBm
Rango de temperatura	-20°C a 70°C

En los Centros de Transformación coexistirá una suscriptora WiMAX y un AP maestro, y su interconexión se realizará mediante un switch. La conexión de estos dispositivos al switch se realiza con cable Ethernet. Para esta función de conexonado se puede utilizar un switch no gestionable, pero es importante por el lugar donde se emplazará, que soporte altas temperaturas. En los Centros de Transformación, por el equipamiento eléctrico que alberga, suelen alcanzarse temperaturas elevadas pudiendo provocar un funcionamiento erróneo en equipamiento no preparado para estas condiciones.

Un equipo específico que se podría utilizar en la instalación es el switch Moxa EDS-205 [30], que se puede visualizar en la figura Fig. 16 y de la que se puede destacar las especificaciones técnicas enumeradas en la Tabla 9.



Fig. 16. Switch utilizado en CT y CR (Moxa EDS-205)

Tabla 10. Especificaciones técnicas del switch utilizado en CT y CR.

Switch – Moxa EDS-205	
Puertos	5 (Ethernet)
Tensión de entrada	12 - 48 VDC
Intensidad de entrada	0.12 A @ 24 V
Rango de temperatura	-10°C a 60°C
Rango de humedad	5% a 95%

Este tipo de switch se utilizará para la interconexión tanto en los Centros de Transformación, como en el Centro de Reparto (para conectar el punto de acceso WiFi al resto de equipamiento del centro).

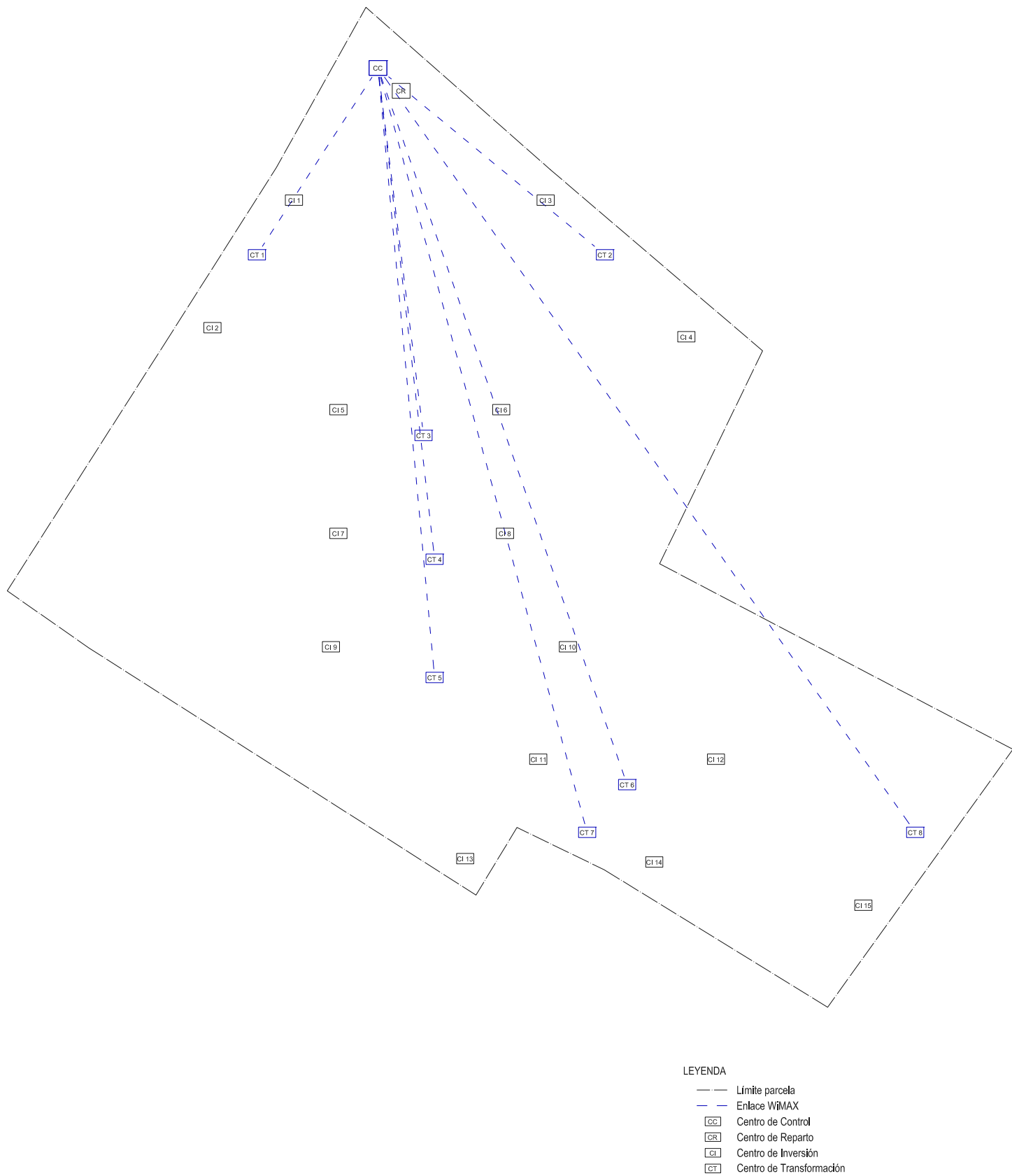
A partir de la planta diseñada, se puede observar que existen 15 Centros de Inversión y 8 Centros de transformación. Por tanto, se necesitan 23 puntos de acceso WiFi para comunicar los Centros de Inversión, y otros 2 más para comunicar el Centro de Reparto, en total se necesitan 25 puntos de acceso WiFi para la red de comunicaciones a implementar en la planta.

Las agrupaciones WiFi de los Centros de Transformación deben estar comunicadas con el Centro de Control mediante enlaces WiMAX, aunque para la agrupación del Centro de Reparto no es necesario porque el punto de acceso maestro ya se encuentra en el Centro de Control. Esta estructura se observa de forma clara en el plano 6.

La planta contará con 9 agrupaciones WiFi, de las cuales necesitan estación suscriptora 8 de ellas, por tanto para la red WiMAX se necesita una estación base y 8 estaciones suscriptoras.

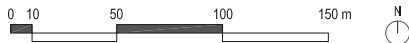
No se debe olvidar implementar la estación meteorológica, muy importante para el control de los distintos factores y parámetros meteorológicos, tomando especial importancia para la producción de energía eléctrica fotovoltaica el parámetro de la irradiancia. La estación meteorológica también debe disponer de acceso a la red para poder obtener las medidas tomadas por dicha estación. Aunque se encuentra junto al Centro de Control, consideramos que se ubica en el Centro de Control pero debe estar en el exterior de dicho centro para poder tomar medidas meteorológicas correctas. No se necesita ningún enlace inalámbrico para la Estación Meteorológica, se utiliza cable Ethernet debido a que se encuentra instalada justamente al lado del Centro de Control y a efectos prácticos se considera emplazada en el propio CC.

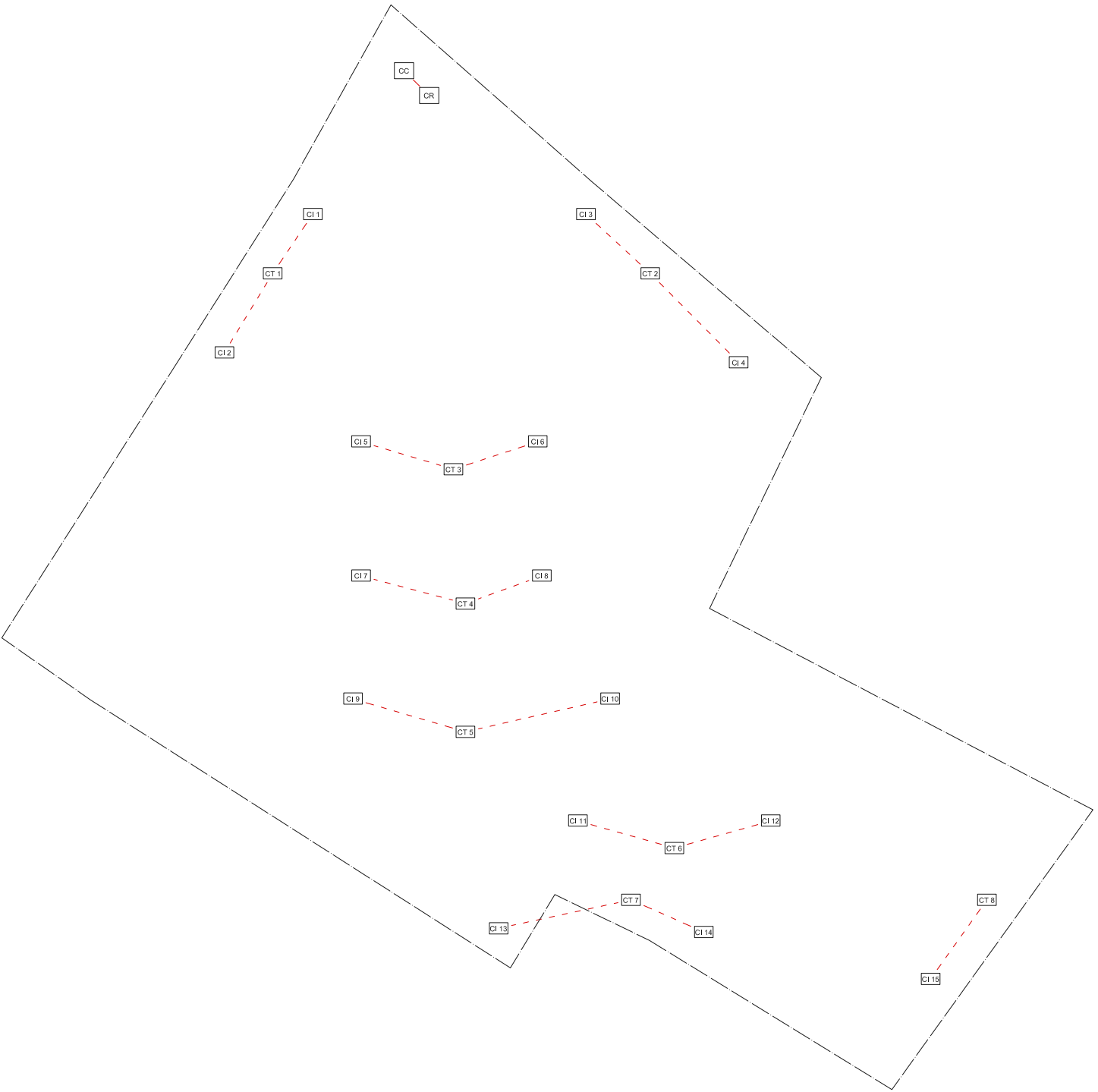
Sistema de comunicaciones para una planta fotovoltaica



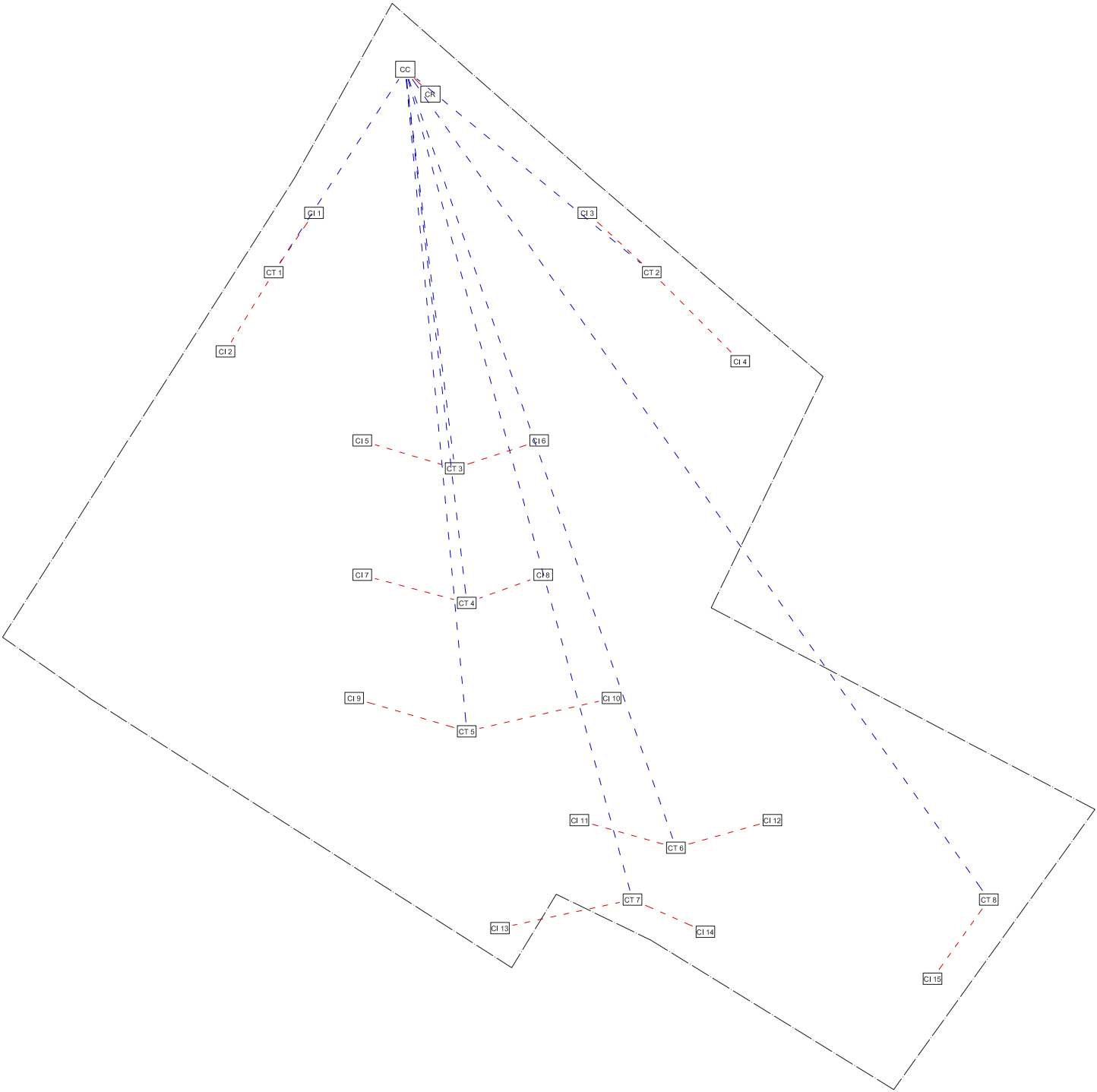
PLANO 4

DISTRIBUCIÓN DE ENLACES WIMAX





- LEYENDA
- Límite parcela
 - - - Enlace WiFi
 - CC Centro de Control
 - CR Centro de Reparto
 - CI Centro de Inversión
 - CT Centro de Transformación



LEYENDA

- Límite parcela
- Enlace WIMAX
- - - Enlace WIFI
- CC Centro de Control
- CR Centro de Reparto
- CI Centro de Inversión
- CT Centro de Transformación

Mediante los enlaces descritos estaría completa la comunicación entre los distintos puntos de interés de la planta. Con la implementación de este sistema de comunicación se consigue tener acceso a dichos puntos de interés permitiendo telemetría y control remoto de los equipos eléctricos y de comunicaciones instalados en la planta y conectados a la red diseñada.

Con la finalidad de facilitar el cableado, la instalación y el mantenimiento de las instalaciones, se utilizará tecnología PoE (*Power Over Ethernet*), basada en la incorporación de alimentación eléctrica a través del mismo cable que se utiliza para la conexión de red (cableado Ethernet) [31].

Al utilizarse tecnología PoE, se debe disponer de equipamiento de comunicaciones que lo implemente, como los switchs de planta. Pero se puede utilizar PoE sin que los switchs dispongan de ese servicio utilizando un inyector de alimentación en un cable Ethernet determinado. Estas unidades disponen de un conector RJ-45 para la entrada de datos, otro para la salida de datos, y una conexión a la red eléctrica, inyectando la corriente de alimentación por el conector de salida de datos. En la planta en estudio se implementarán estos inyectores con la finalidad de no depender de los switchs para la alimentación, pero si más adelante se decidiese alimentar los equipos a través del switch solamente se deberían retirar los inyectores de energía.

En la red de comunicaciones a implementar es fundamental incorporar PLC (*Programmable Logic Controller*) para el correcto funcionamiento de la telemetría. Existen muchos tipos de PLC variando su utilización y funcionamiento dependiendo del tipo. Los PLC son muy utilizados en automatización industrial [32].

Los PLC utilizados para el Proyecto actual son los *dataloggers*. Estos equipos se ocupan de la recogida secuenciada de muestras de señales en distintos equipos eléctricos, constituyendo la base de la telemetría de la planta solar fotovoltaica.

Cada *datalogger* estará configurado para tomar muestras de algunas señales de varios dispositivos de la planta de forma cíclica especificando el tiempo deseado para dicho ciclo. Además, dispondrá de cierta capacidad de almacenamiento para poder almacenar información en local en caso de que pierda la conectividad con el sistema local de planta durante ciertas horas. De esta forma será posible, una vez se recupere la conectividad, rescatar la información almacenada. Puede ser de gran utilidad usar discos duros en los *dataloggers* con tecnología flash debido al menor riesgo de fallos mecánicos en los mismos.

Es importante tener en cuenta, a la hora de configurar los *dataloggers*, las señales que interesa monitorizar y cada cuánto tiempo, puesto que es importante minimizar en la medida de lo posible la cantidad de tráfico en la red (puesto que la interrogación de equipos por parte de los *dataloggers* es un proceso cíclico) y cantidad de datos almacenados en el servidor. A medida que aumenta el tráfico en la red, aumenta la probabilidad de que se produzcan demoras en la transmisión de datos, del mismo modo que también aumenta la cantidad de datos

almacenados en el servidor puesto que las muestras recogidas por los *dataloggers* se almacenan en este.

Para la captación de señales, ya estudiada en el capítulo anterior, se necesitará disponer de *dataloggers* instalados para secuenciar su recopilación. Los *dataloggers* soportan tecnología Ethernet y el protocolo TCP/IP, por lo que su conexión a la red de comunicaciones a diseñar es sencilla. El problema es que la mayor parte de los equipos eléctricos de planta y de los captadores de señales no disponen de entradas RJ-45, y necesitan conectarse mediante puertos serie.

Un *datalogger* que se podría utilizar en el diseño actual obteniendo excelentes resultados podría ser el modelo OWA21I ETH de la serie owa2x del fabricante Satel [33], que se puede visualizar en la figura Fig. 17 y de la que se puede destacar las especificaciones técnicas enumeradas en la Tabla 11.



Fig. 17. Datalogger utilizado (OWA21I, de Satel)

Tabla 11. Especificaciones técnicas del datalogger utilizado.

Datalogger – Satel OWA 21I ETH	
Tensión nominal	6 - 36 VDC
Memoria	8 Mbyte FLASH 16 Mbyte RAM
Conectores	RJ-45 DB-9 (RS-232) Molex Mini-fit 6 pines
Rango de temperatura	-30°C a 75°C

Para la interconexión de los equipos eléctricos de planta y de los captadores de señales se utiliza un bus serie RS-485 [34], instalándose posteriormente un Conversor IP/Serie para transformar una IP y puerto en la dirección correspondiente de cada dispositivo en el bus y así poderse llevar a cabo la comunicación con los *dataloggers* y el resto de la red de comunicaciones. Se utiliza este método de conexión porque la mayor parte del equipamiento eléctrico y de toma de medidas, no disponen de puerto RJ-45, pero sí llevan siempre incorporados al menos un puerto serie (en la mayor parte de los casos RS-485).

Un conversor IP/Serie apropiado para el diseño actual es el modelo NPORT 5130 del fabricante Moxa [35], que se puede visualizar en la figura Fig. 18 y de la que se puede destacar las especificaciones técnicas enumeradas en la Tabla 11.



Fig. 18. Conversor IP/Serie utilizado (Moxa NPORT 5130).

Tabla 12. Especificaciones técnicas del conversor IP/Serie utilizado.

Conversor IP/Serie – Moxa NPORT 5130	
Tensión de entrada	12 - 48 VDC
Puertos	RJ-45
	DB-9 (RS-422 / RS-485)
Rango de temperatura	0°C a 55°C

Los *dataloggers*, que actúan como elementos interrogadores, tendrán la inteligencia necesaria y soportarán los protocolos adecuados para poder consultar los dispositivos de captación y medida que se instalarán. Además, serán accesibles vía TCP/IP cada uno de ellos con su propia dirección IP.

5.7. Conexionado de Centros

Para completar la topología de la red a implementar, se describirán las comunicaciones e interconexión de los puntos de planta donde se dispondrá de acceso a la red.

5.7.1. Centros de Inversión

Como se puede observar en el diagrama de captación del Centro de Inversión representado en la figura Fig. 19, los Captadores de señales analógicas recogen las señales de la sonda de temperatura, los captadores de tensiones y los toroidales.

Los Captadores de señales analógicas y los Analizadores de Energía se comunican exclusivamente por puertos serie, y el más utilizado es RS-485, por lo que utilizaremos ese tipo de bus en la interconexión de equipos. Los Inversores, también soportan este tipo de bus, aunque algunos modelos pueden incluir la opción de conectarse por RJ-45 directamente.

En el caso particular de este Proyecto, los Captadores de señales analógicos, junto con los Analizadores de Energía y los Inversores, se conectan al bus serie RS-485 del Centro de Inversión, y para poder comunicar estos equipos con el resto de la red, se utiliza un Conversor IP-Serie.

Los conversores IP-Serie son dispositivos muy necesarios para posibilitar la comunicación de los operadores de planta con el equipamiento eléctrico para realizar mediciones y realizar operaciones por control remoto. Su funcionamiento se basa en traducir la información del bus serie en paquetes TCP ó UDP, y viceversa, permitiendo la comunicación entre los extremos del conversor.

El puerto RJ-45 del conversor se utiliza para conectar el punto de acceso WiFi, que permitirá enlazar el Centro de Inversión con su Centro de Transformación correspondiente.

Los Captadores de señales analógicas utilizarán el protocolo Modbus/RTU a través de su puerto RS-485.

Todo el equipamiento que se instale en los Centros de Inversión debe estar preparado para soportar altas temperaturas, ocasionadas por el equipamiento eléctrico sumado al clima de la zona y posiblemente incrementado por el material utilizado en la construcción del Centro de Inversión.

En el diagrama de comunicaciones de la figura Fig. 10 se puede observar la topología, ya explicada, en este tipo de centros omitiendo la parte de captación desde el Conversor IP-Serie.

Centro de Inversión

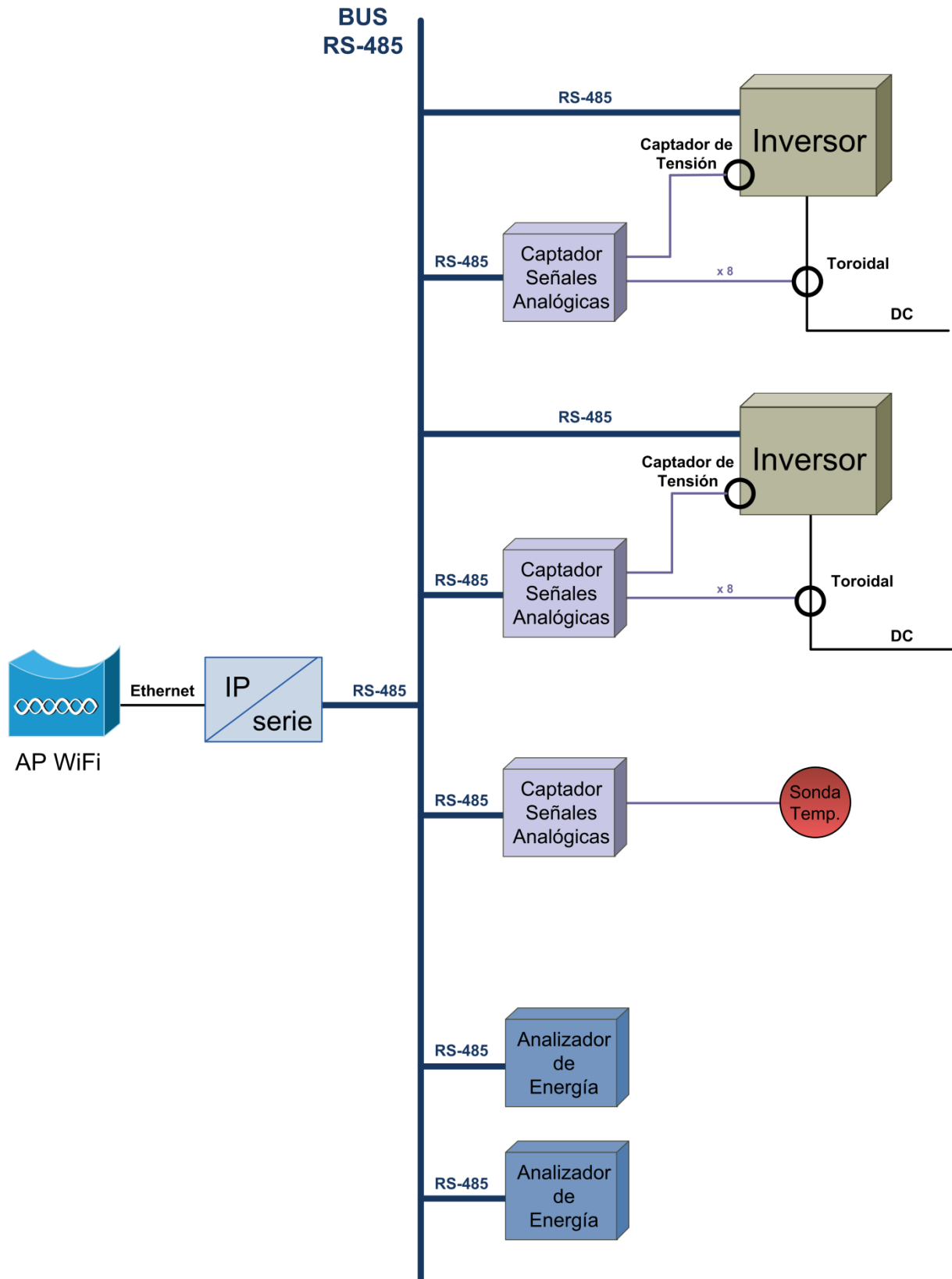


Fig. 19. Diagrama de captación de señales del Centro de Inversión.

5.7.2. Centros de Transformación

Como se puede observar en el diagrama de captación del Centro de Transformación representado en la figura Fig. 20, el Captador de señales analógicas recoge las señales del Transformador y de la Sonda de temperatura; y el Captador de señales digitales los estados de los seccionadores y de los interruptores BT.

Al igual que en el caso de los Centros de Inversión, los Captadores de señales analógicas y los de señales digitales se comunican exclusivamente por puertos serie, y el más utilizado es RS-485, por lo que utilizaremos ese tipo de bus en la interconexión de equipos. Por tanto, estos captadores se conectan al bus serie RS-485 del Centro de Transformación, y para poder comunicar estos equipos con el resto de la red, se utiliza un conversor IP-Serie al igual que en el Centro de Inversión.

El puerto RJ-45 del conversor se utiliza para la interconexión con el *datalogger*, los Centros de Inversión y el Centro de Control.

Es imprescindible la instalación de un Switch en el Centro de Transformación que permita la interconexión del conversor con el resto de equipos y centros. Se conecta por Ethernet uno de los puertos del switch al conversor IP-Serie, otro al *datalogger*, otro al punto de acceso WiFi que permitirá enlazar el Centro de Transformación con sus Centros de Inversión correspondientes, y otro a la Suscriptora WiMAX que permitirá enlazar el Centro de Transformación con el Centro de Control.

Los Captadores de señales analógicas y digitales utilizarán el protocolo Modbus/RTU a través de su puerto RS-485.

Todo el equipamiento que se instale en los Centros de Transformación debe estar preparado para soportar altas temperaturas, ocasionadas por el equipamiento eléctrico sumado al clima de la zona y posiblemente incrementado por el material utilizado en la construcción del Centro de Transformación.

En el diagrama de comunicaciones de la figura Fig. 10 se puede observar la topología, ya explicada, en este tipo de centros omitiendo la parte de captación desde el Conversor IP-Serie.

Centro de Transformación

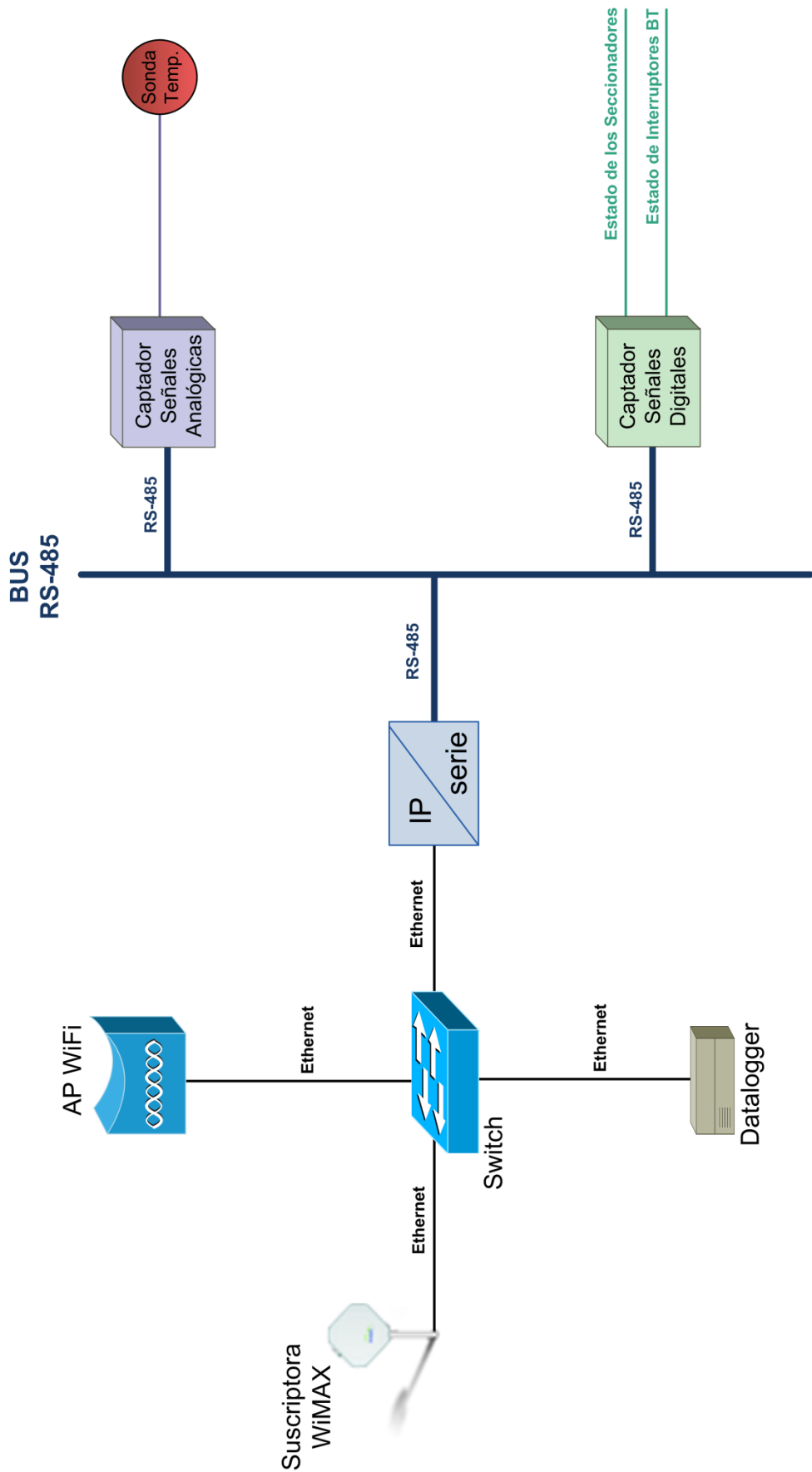


Fig. 20. Diagrama de captación de señales del Centro de Transformación.

5.7.3. Centro de Reparto

Los captadores de señales analógicas y señales digitales del Centro de Reparto recogen una serie de señales ya explicadas en el apartado Captación de Señales, con la finalidad de propagar las muestras obtenidas a los encargos de monitorización y telecontrol.

Al igual que en el caso de los Centros de Inversión y Centros de Transformación, los Captadores de señales analógicos y los de señales digitales se comunican exclusivamente por puertos serie, y el más utilizado es RS-485, por lo que utilizaremos ese tipo de bus en la interconexión de equipos. Por tanto, estos captadores se conectan al bus serie RS-485 del Centro de Reparto.

Los Contadores también se comunican exclusivamente por puertos serie, y los más utilizados son RS-485 y RS-232. Se puede tener contadores que únicamente soporten RS-485, ó RS-232, o que soporten ambos (teniendo conectores de los dos tipos). Por uniformidad con el resto de conexionado se utilizarán contadores que dispongan de puertos serie RS-485. Se debe tener en cuenta que aun teniendo puertos de ambos tipos puede necesitarse el RS-485 para otra finalidad (como el conexionado con equipos de organizaciones externas para el control de la producción y confirmación del cumplimiento de la legislación vigente) y solamente disponer del RS-232 para la red de comunicaciones, necesitando en este caso incorporar un conversor de RS-232 a RS-485 intercalándolo entre el contador y el bus serie utilizado.

En este tipo de centro aparece un mayor número de equipos eléctricos, por lo que puede ser conveniente utilizar varios buses, tanto para separar tipos de equipos como para no sobrecargar el bus de comunicaciones.

Se puede observar en el diagrama de captación representado en la figura Fig. 21 que en el Centro de Reparto de la planta proyectada aparecen 2 captadores de señales analógicos, 3 captadores de señales digitales, y 3 contadores de media tensión. Con la finalidad tanto de separar tipos de equipos como de no sobrecargar el bus de comunicaciones se utilizarán dos buses serie RS-485, albergando uno de ellos los captadores de señales y el otro los contadores de media tensión.

Por tanto, los Contadores se conectarán a un bus serie RS-485, desestimando a priori la posibilidad de que se necesite un conversor de RS-232 a RS-485 para el caso de la planta proyectada.

Los Captadores de señales analógicas y digitales utilizarán el protocolo Modbus/RTU a través de su puerto RS-485.

Con la finalidad de comunicar estos equipos con el resto de la red, se utilizan dos Conversores IP-Serie, uno para cada bus serie utilizado, empleándose sus puertos RJ-45 para la interconexión con los *dataloggers* y el Centro de Control.

Centro de Reparto

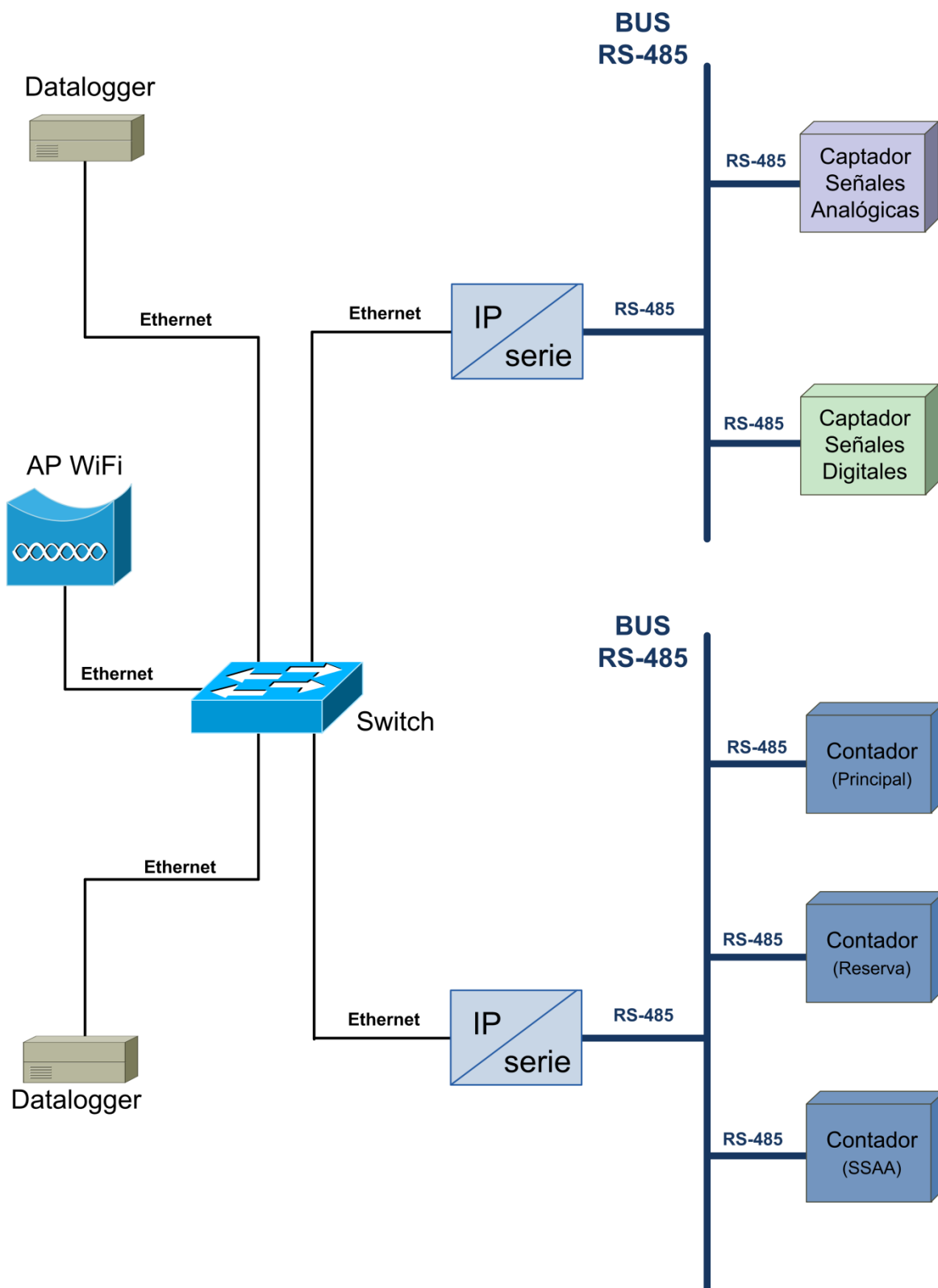


Fig. 21. Diagrama de captación de señales del Centro de Reparto.

Debido a la mayor cantidad de equipamiento eléctrico que en el resto de centros, será conveniente instalar 2 *dataloggers*, mejorando el rendimiento y la interrogación de equipos. Se destinará un *datalogger* para los contadores de media tensión, y otro para el resto de equipamiento del Centro de Reparto.

Es imprescindible la instalación de un Switch en el Centro de Reparto, conectando por Ethernet dos de sus puertos a los Conversores IP-Serie, otro dos a los *dataloggers*, y otro al punto de acceso WiFi que permitirá enlazar el Centro de Reparto con el Centro de Control.

Todo el equipamiento que se instale en el Centro de Reparto debe estar preparado para soportar altas temperaturas, ocasionadas por el equipamiento eléctrico sumado al clima de la zona y posiblemente incrementado por el material utilizado en la construcción del Centro de Reparto.

En el diagrama de comunicaciones de la figura Fig. 10 se puede observar la topología, ya explicada, en este centro omitiendo la parte de captación desde los Conversores IP-Serie.

5.7.4. Centro de Control

El Centro de Control es el punto principal de la planta en lo que a regulación y vigilancia de producción y del estado del equipamiento se refiere, tomando el papel de punto central y principal de las comunicaciones de la planta solar. En este centro es donde se sitúa el *core* de la red de comunicaciones a implementar.

En primer lugar se debe tener acceso a internet en la planta, lo que conlleva instalar un *router* de una operadora de telecomunicaciones con direccionamiento público. La IP pública asignada a la planta no es conocida cuando se diseña el sistema de comunicaciones, puesto que lo proporciona la propia operadora.

La parte que realmente interesa en el diseño del sistema de comunicaciones de la planta es el equipamiento propio, por tanto, a partir del *router* de acceso a internet.

Tras el *router* de la operadora de comunicaciones se emplazará otro *router*, el principal de nuestra red. Es el que, a efectos prácticos de nuestro sistema, controlará el tránsito de información entre el interior de la planta y el exterior, por lo que debe configurarse con unas políticas de seguridad en función de las necesidades que se estimen oportunas.

Un posible *router* a utilizar en el Centro de Control de la planta solar fotovoltaica es el modelo 861-K9 del fabricante Cisco [36], que se puede visualizar en la figura Fig. 22.



Fig. 22. Router utilizado (Cisco 861-K9)

Es un *router* de 4 puertos RJ-45 con soporte para VLAN. También soporta VPN, siendo ésta una característica principal para poder acceder con seguridad de forma remota al control de la planta.

Tras el *router* principal se colocará un switch, que será el principal de la planta, puesto que gestionará las comunicaciones y el encaminamiento de paquetes de datos en la distribución por la planta.

Un modelo de switch que se podría utilizar en el Centro de Control es el modelo SFE2000 del fabricante Cisco [37], que se puede visualizar en la figura Fig. 23.



Fig. 23. Switch utilizado en el CC (Cisco SFE2000).

Es un switch de capa 3 de 24 puertos RJ-45 con soporte para VLAN. Realmente no se necesitan para el diseño actual una cantidad tan alta de puertos, pero proporciona flexibilidad al diseño en el caso de ampliación de la planta o en caso de que se necesite aumentar el equipamiento con acceso a la red a conectar en el Centro de Control.

La estructura lógica sería conectar el *router* de la operadora al *router* de planta, y este último al switch de planta, pero de esta manera solo se obtiene un puerto en nuestra red con direccionamiento público, siendo éste el puerto del *router* de planta conectado al *router* de la operadora. Se puede utilizar un conexionado alternativo con la finalidad de disponer de más puertos con direccionamiento público, permitiendo conectar algunos equipos a este direccionamiento para facilitar la comunicación con un punto externo a nuestra red.

La configuración que permite tener más puertos con direccionamiento público se puede observar en el diagrama de conectividad de la figura Fig. 10, y consiste en conectar el *router* de la operadora directamente al switch de planta, y el *router* de planta conectarlo por sus dos puertos también al switch. De esta manera podemos crear una VLAN para el direccionamiento público y asociarlo a los puertos del switch que sea conveniente. Uno de estos puertos con direccionamiento público es obligatoriamente para el puerto externo del *router* de planta. De esta forma se consigue multiplicar el número de puertos disponibles con direccionamiento público.

Hasta este punto, se ha descrito la interconexión entre *routers* y switch del centro de control, debiéndose configurar adecuadamente sus VLAN correspondientes. A partir de este punto, se deberán de configurar 2 VLAN más, que pueden considerarse las más representativas para la toma de datos y el telecontrol.

Estas VLAN son la de “Servidor” y la de “Planta”, y se utilizan para separar los equipos de control y almacenamiento de datos de los de recolección, situados en los distintos puntos de la planta. Esta separación es muy útil para configurar una buena política de seguridad y configurar permisos de acceso.

En la VLAN de Servidor se tendrá el Servidor, el IRMC y los ordenadores del personal de planta. El IRMC es una consola de control del servidor, que facilita el manejo y gestión de éste.

Los ordenadores del personal de planta es variable, ya que dependerá de la cantidad de operarios que haya en cada momento. Se podría hacer una estimación del número máximo de ordenadores que se conectarán reservando los puertos pertinentes y un direccionamiento determinado. Siempre habrá un mínimo de ordenadores conectados, puesto que se necesita supervisar el estado y producción de la planta y actuar sobre el equipamiento eléctrico.

En la VLAN de planta se tendrán todos los equipos de comunicaciones inalámbricas, switches de los demás centros, *dataloggers*, y conversores IP-Serie.

El servidor, el IRMC y los ordenadores del personal de planta se emplazan físicamente en el Centro de Control, por lo que irán conectados directamente al Switch mediante cable Ethernet en puertos configurados con la VLAN de Servidor.

Además, en el Centro de Control también se instalará la estación base WiMAX de la planta para conseguir la comunicación con los Centros de Transformación, el Punto de Acceso WiFi que permitirá la comunicación con el Centro de Reparto, la Estación Meteorológica, y el *datalogger* que se ocupará de interrogar a dicha estación. Estos equipos, también irán conectados directamente al Switch mediante cable Ethernet, pero en puertos configurados con la VLAN de Planta.

5.8. Configuración de Radioenlaces

Para un despliegue eficaz y satisfactorio de la red de comunicaciones es necesario realizar un correcto diseño de la configuración de los radioenlaces teniendo presente una serie de factores tanto del propio equipamiento como ajenos a él.

5.8.1. Disposición de las antenas

Lo primero que se debe considerar es la instalación física del radioenlace, intentando conseguir un óptimo apuntamiento de las antenas. Se debe determinar cuidadosamente a qué altura se instalarán las antenas y en que dirección se orientarán (dependiendo también de su directividad).

En lo que respecta al despliegue de radioenlaces WiMAX, se debe tener en cuenta que aun utilizando equipamiento preparado para enlaces NLOS siempre será más estable y efectivo un enlace LOS, por lo que se deberá realizar una buena orientación de las antenas siempre que sea posible. Por tanto, para obtener una buena orientación de las antenas se deben situar con cierta elevación, para evitar en la medida de lo posible todos los obstáculos.

En el caso del Proyecto actual hay tres tipos de obstáculos que predominan: centros, equipamiento eléctrico, e irregularidades del terreno.

Los Centros de Transformación, de Inversión y de Reparto, que se construirán repartidos por la planta, no poseen demasiada altura, alcanzando como máximo los 3 metros.

El equipamiento eléctrico que puede obstaculizar realmente las comunicaciones son los módulos solares, debido a su gran número extendidos por toda la planta. La parte más alta de los paneles instalados puede alcanzar unos 3 metros de altura sobre el terreno.

El obstáculo más importante a tener en cuenta en este tipo de comunicaciones es el perfil del terreno, perdiendo importancia las instalaciones que se hagan en planta que por norma general no alcanzarán mucha altura y son fácilmente sorteables. Las irregularidades del terreno pueden crear problemas severos en las comunicaciones, y se debe diseñar la instalación para liberar completamente la primera zona de Fresnel (representada en la figura Fig. 24), pudiéndose registrar ralentizaciones y desvanecimientos de señal a medida que crece el porcentaje de invasión de esa zona [38]. Se debe tener en cuenta también que, aunque se disponga de tecnología que soporte enlaces NLOS, no se aplica de la misma forma para irregularidades del terreno, puesto que NLOS se basa en transmisión por reflexiones y si la obstaculización se produce por una obstaculización del terreno relativamente grande es complicado que se pueda establecer comunicación por falta de caminos para llegar mediante reflexiones.

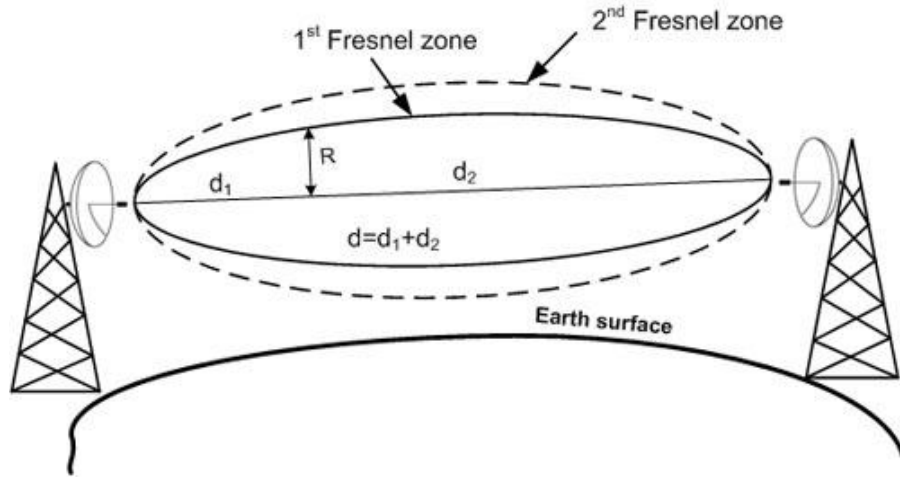


Fig. 24. Zona de Fresnel en un radioenlace en la superficie terrestre.

En el caso de este Proyecto en particular, se puede observar que el perfil del terreno no es muy irregular, y no posee elevaciones que se interpongan en las posibles trayectorias de las antenas. La mayor desventaja que se puede encontrar en lo que al terreno se refiere es el desnivel entre los extremos de la planta. Al fijarse en el perfil se puede observar que el lugar diseñado para la instalación de la estación base es el punto más bajo de la planta, lo que supondrá tener que elevar más la estación base. El máximo desnivel que se puede encontrar en el terreno de la planta es de 3 metros.

La estación base se instalará sobre el Centro de Control, por lo que no se ha tenido en cuenta como obstáculo para la transmisión. No obstante, se puede estimar una altura de unos 6 metros para el Centro de Control, que aprovecharemos para elevar la estación base.

En definitiva, la altura del obstáculo más alto que se puede encontrar en planta son 3 metros, incluyendo las irregularidades del terreno. Por tanto, si queremos asegurar una comunicación óptima se debe dejar como mínimo 3 metros de margen entre el suelo y la primera zona de Fresnel en cada punto de la planta solar fotovoltaica.

Teniendo en cuenta lo anterior, y utilizando herramientas de simulación [39], una solución satisfactoria es instalar la estación base a 10 metros de altura sobre el terreno, y la suscriptor a 5 metros. Esto se conseguirá añadiendo un mástil de 4 metros al Centro de Control (que ya contaba con una altura de 6 metros) para elevar la antena de la Estación Base, y utilizando mástiles de 2 metros en los Centros de Transformación (que ya contaban con 3 metros de altura) para elevar la antena de las Suscriptoras. Situando las antenas de la manera explicada, se consigue que ningún obstáculo invada la primera zona de Fresnel asegurando un enlace robusto y estable.

No se debe olvidar realizar un correcto apuntamiento de las antenas. En el caso del Proyecto actual, la estación base es de 90°, y por tanto, para cubrir toda la superficie de la planta y observando la distribución del equipamiento, el eje de la antena debe formar un ángulo de 10° hacia el Este respecto de la dirección sur, como se puede apreciar en la representación de la

figura Fig. 25, en la que se especifica la dirección de apuntamiento y el ángulo de cobertura de la antena.

Las antenas suscriptoras, deben dirigirse todas en dirección a la Estación Base. Como se distribuyen por distintos puntos de la planta, cada una tendrá una orientación absoluta distinta, pero todas hacia el Centro de Control.

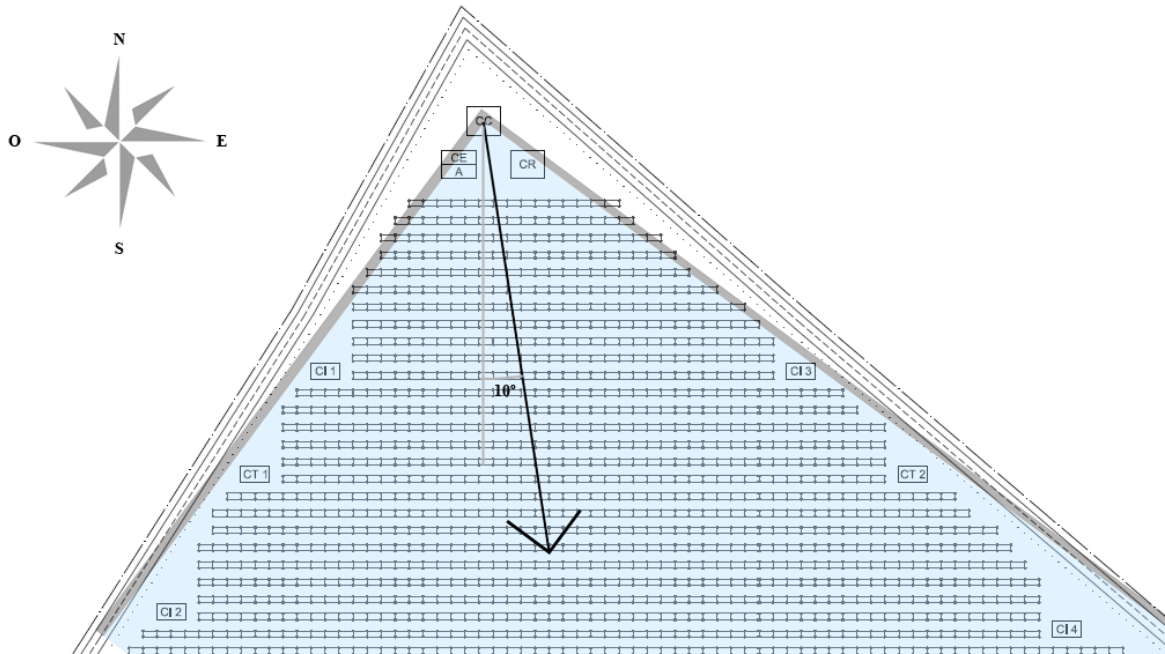


Fig. 25. Apuntamiento y ángulo de cobertura de la estación base WiMAX.

El despliegue de puntos de acceso WiFi es más sencillo que el despliegue de WiMAX y no es necesario tener tantas consideraciones.

Se utilizarán puntos de acceso omnidireccionales, evitando tener que preocuparse por el apuntamiento de las antenas. Lo que sí es importante tener en cuenta es el lugar de instalación de cada punto de acceso, intentando evitar pérdidas por obstáculos. Esto implica instalar las antenas WiFi en el exterior de cada centro, evitando tener que atravesar las paredes del recinto.

Los puntos de acceso WiFi se pueden instalar a la altura del techo de cada centro sin necesidad de elevarlos con un mástil, por lo que su instalación será más fácil que las antenas WiMAX, simplemente valdría con anclarlos a la parte mas alta de una de las paredes del centro en el que se instale.

Debemos tener en cuenta que se va a utilizar tecnología de alimentación sobre ethernet, por lo que se instalara una unidad básica de alimentación para cada punto de acceso WiFi y estación WiMAX. El inyector utilizado es IDU (*In-Door Unit*), por lo que se deberá instalar en el interior del centro oportuno conectándolo a través de Ethernet (ya incorporando la alimentación) con el dispositivo instalado en el exterior.

5.8.2. Modo de funcionamiento de equipamiento WiMAX

Una vez diseñada la distribución de las antenas de los radioenlaces, se puede proceder a diseñar la manera en la que se establecerá el enlace y a seleccionar parte de la configuración de los dispositivos. En este apartado se realizará este análisis para el equipamiento WiMAX.

Con respecto a la frecuencia de trabajo del radioenlace, se utilizará una de las bandas libres, es decir, la banda de 5,4 GHz o la de 5,8 GHz. Para transmitir en estas bandas no se necesita licencia, a diferencia del resto de bandas del rango de frecuencias de WiMAX. Este hecho ha sido un factor importante en la decisión del equipamiento a utilizar.

La utilización de bandas de uso libre tiene sus ventajas e inconvenientes con respecto a las bandas con licencia. Si se trabaja en bandas con licencia, se asegura una gran calidad y una interferencia muy baja en la transmisión, puesto que se utiliza exclusivamente una banda y el equipamiento que transmite bajo licencia es menor. Además, al ser frecuencias más bajas, consiguen un mejor comportamiento NLoS.

Para este tipo de instalaciones, a pesar de las ventajas generales que presentan las bandas con licencia, predominan las ventajas de la utilización de las bandas libres. Se debe destacar que para emplear una solución con licencia es preciso adquirir el espectro, que es un proceso muy variable en función del país en el que se quiera operar y requiere pasar por subastas, elevados precios, y retardos considerables en trámites de concesión. Por tanto, al utilizar bandas libres se ahorrará mucho tiempo (evitando los trámites comentados) y se conseguirá reducir los costes del proyecto. También se consigue una mayor escalabilidad y una mayor interoperatividad [40].

Se podría pensar que al utilizar una banda libre aparecerá un gran número de interferencias y se podría degradar mucho el enlace, pero al ser instalaciones que se encuentran en áreas rurales y bastante despobladas, es poco probable que esto ocurra.

Cierto es, que la utilización de bandas libres no está exenta de limitaciones, y se debe tener en cuenta sobretodo en la potencia a utilizar para transmitir (puesto que la potencia es un condicionante del uso de estas bandas) y en la posible interacción con radares.

Es fundamental tener en cuenta, a la hora de trabajar en estas bandas, la interacción con los radares y la limitación de potencia, que se controlarán mediante el DFS (*Dynamic Frequency Selection*) y el TPC (*Transmitter Power Control*) respectivamente.

El DFS [41] es una funcionalidad de uso obligatorio para estas bandas que tiene la finalidad de evitar interferencias co-canal con sistemas de radar (que trabajan en estas bandas de frecuencias) y permite asegurar una utilización uniforme de los canales disponibles. Su funcionamiento se basa en el abandono de un canal de radiofrecuencia cuando se detecta un radar o transmisión pública, para priorizar ciertos servicios como policía, bomberos o militares.

El problema principal de cumplir esta medida es que por motivos de seguridad, un servicio gubernamental y con permiso para emitir preferentemente no puede ser identificado. Por este motivo la legislación obliga a que ante cualquier transmisión detectada en esa banda de frecuencias se debe cambiar de canal. Es decir, se asume que cualquier equipo que se detecte y que no tenga el DFS activado es un equipo con permiso para emitir y se le otorga preferencia. Por este motivo cualquier radar o emisor no certificado o que incumpla la regulación afectará de manera muy negativa al radioenlace, haciendo que abandone la frecuencia actual de trabajo y ocasionando pérdidas temporales de servicio. Esta es la parte más negativa de la utilización de bandas libres, pero se confía en que al ser entornos alejados de zonas urbanas ocurran con escasa frecuencia.

El equipamiento utilizado dispone de la posibilidad de configurar un listado de frecuencias a las que cambiarse en caso de detectar un radar en la frecuencia de trabajo en la que se encontraba.

Con la finalidad de tener controladas las pérdidas de servicio debidas al DFS es conveniente analizar el modo de actuación de las estaciones base y las suscriptoras ante la detección de un posible radar, debido a que puede ocurrir que uno de los extremos del radioenlace lo detecte pero el otro no.

Se puede dividir el impacto en dos supuestos distintos, que sea un radar de barrido de frecuencias o coincida con la frecuencia usada por la estación base a la que esté asociado

➤ **Detección por unidad suscriptora:**

- Radar mono-frecuencia: la unidad suscriptora se desasociará de la estación base y escaneará de nuevo el espectro radioeléctrico evitando la frecuencia en la que estaba. Se puede visualizar en la figura Fig. 26 un ejemplo de la detección de un radar en un interfaz de gestión de una suscriptora.
 - Pérdida de comunicación del nodo afectado durante un tiempo indeterminado. La suscriptora escaneará el espectro de radiofrecuencia buscando una frecuencia no afectada.
- Radar de barrido: la unidad suscriptora se desasociará y escaneará de nuevo el espectro radioeléctrico evitando la frecuencia en la que estaba. Detectará el radar en todas las frecuencias por lo que reiniciará su servicio continuamente hasta que el radar de barrido se aleje de la unidad suscriptora.
 - Pérdida de comunicación del nodo afectado hasta que desaparezca el radar de barrido.

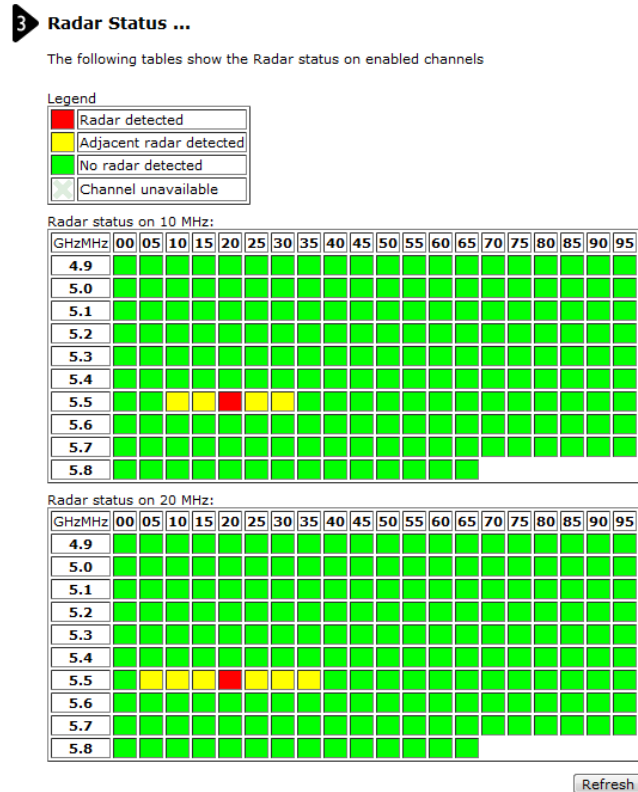


Fig. 26. Detección de un radar en el interfaz de gestión de una suscriptora.

➤ Detección por estación base:

- Radar mono-frecuencia: la estación base cambiará de frecuencia, mandando a sus unidades suscriptoras un mensaje de detección de radar y una petición de desconexión. Al estar configurada con un abanico de frecuencias, escaneará ese espectro de frecuencias y fijará su servicio en un canal libre de radar. Las antenas suscriptoras la detectarán y se asociarán a ella. Se puede visualizar en la figura Fig. 27 un ejemplo de la detección de un radar en un interfaz de gestión de una estación base.
 - Pérdida de comunicación durante un tiempo indeterminado de todos los nodos asociados a la estación base.
- Radar de barrido: es el peor de los casos. La presencia de un radar de barrido o inhibidor de frecuencias cercano a estación base y con una potencia capaz de activar el DFS hará que se desconecten todas las unidades suscriptoras y que la estación base se reinicie constantemente buscando una franja de frecuencias en las que poder trabajar.

- La comunicación no se recuperará hasta que no desaparezca el radar, afectando a todos los nodos. Además el sistema tendrá que converger a la situación inicial, proceso que durará varios minutos desde la desaparición del radar.

Frequency Definition

Current Operating Frequency (MHz): 5700
 DFS Required By Regulations: Yes
 Channel Avoidance Period (min): 30
 SU Waiting Option: Enable

Defined Frequency (MHz): 5700
 Channel Check Time (sec): 60
 Minimum Pulses To Detect: 3
 Current Bandwidth (MHz): 20

DFS Frequency Status Table

Frequency (MHz)	Detection Status
5600	Radar Free
5620	Radar Free
5640	Radar Free
5660	Radar Free
5680	Radar Detected
5700	Radar Detected

☐ Clear Detection Status After Reset

Channel Reuse Option: Disable
 Assessment Period (Hours): 5
 Max Detections In Assessment Period: 5
 DFS Detection Algorithm: N/A

Planned Frequency Definition Table

Exclude All Include All

Frequency (MHz)	Include
5500	No
5520	No
5540	No
5560	No
5580	No
5600	Yes
5620	Yes

Remote Radar Reports to Leave

Remote Radar Reports: 0
 Remote Radar Monitoring Period: 30

Fig. 27. Detección de un radar en el interfaz de gestión de una estación base.

Como se ha analizado, estos aparatos son un gran inconveniente para redes en entornos urbanos, donde es más probable que ocurran estas situaciones. Además debe hacerse notar que se pueden dar falsos positivos al coincidir con otro equipo de banda no licenciada.

Sin embargo en entornos rurales no es un problema tan grave debido a la eventualidad y poca probabilidad de su aparición en el entorno de la planta. Todos estos dispositivos son usados solo por fuerzas del orden, grandes personalidades, embajadas, servicio secreto o víctimas del terrorismo, que habitualmente no se encuentran en entornos rurales.

También es interesante configurar los dispositivos WiMAX para que funcionen utilizando técnicas MIMO. Si al instalar las antenas y realizar pruebas de conectividad sobre el terreno se obtienen resultados satisfactorios sobre la cobertura (que es el resultado esperado) sería conveniente que se utilizase MIMO orientado a Capacidad, dotando al sistema de una mayor velocidad de transmisión ganando agilidad en la telemetría y telecontrol de la planta. Se puede observar una ilustración del funcionamiento de las técnicas MIMO en la figura Fig. 28.

Si no se obtuviese resultados satisfactorios en algunos puntos de la planta sería conveniente que se utilizase MIMO orientado a Diversidad, dotando al sistema de una mayor robustez, pudiendo conseguir un buen recubrimiento de cobertura a lo largo de todo el terreno de la planta.

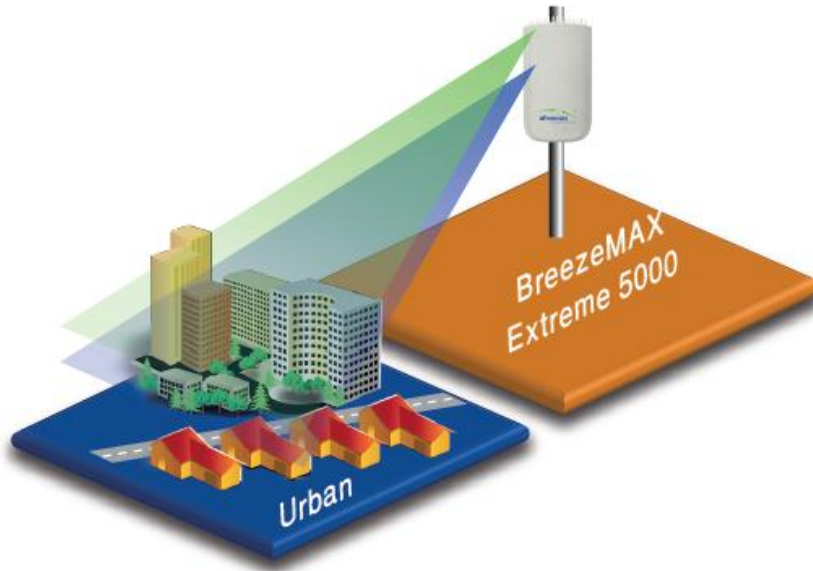


Fig. 28. Funcionamiento de una estación base configurada en modo MIMO.

5.8.3. Modo de funcionamiento de equipamiento WiFi

Una vez diseñada la distribución de los puntos de acceso, se puede proceder a diseñar la manera en la que se establecerá el enlace y a seleccionar parte de la configuración de los dispositivos. En este apartado se realizará este análisis para el equipamiento WiFi.

Con respecto al modo de funcionamiento de los puntos de acceso, se utilizará el estándar 802.11g, consiguiendo prácticamente la máxima velocidad que define dicho estándar puesto que la distancia de separación entre puntos de acceso no es grande.

Cada punto de acceso tiene una interfaz radio que debe de funcionar en una banda de frecuencias y en un canal de radio. Estos canales son los mismos para todos los servicios, por lo que es un medio compartido. Por este motivo es importante establecer un plan de frecuencias para minimizar la interferencia co-canal y solapamientos entre puntos de acceso.

En el caso de 2,4 GHz existen 11 canales en la legislación europea. De estos 11 canales solo son no solapables el grupo de tres canales: 1, 6 y 11. Por este motivo, se suelen utilizar estos tres canales [42].

La forma de conexión que se requiere para los dispositivos WiFi en el Proyecto actual es formando agrupaciones, es decir, conectándose entre sí varios puntos de acceso. Esto se conseguirá configurando los dispositivos con WDS (*Wireless Distribution System*).

WDS es un sistema que permite la interconexión inalámbrica de puntos de acceso, permitiendo ampliar la red asociando un nuevo punto de acceso a los anteriores. Estas conexiones, una vez configuradas, se realizan de forma totalmente transparente. Hay que tener en cuenta que si se utiliza seguridad en el acceso por WiFi deben compartir las claves WEP o WPA para poder establecer el enlace.

También pueden configurarse para que además de crear asociaciones entre ellos, funcionen como puntos de acceso, permitiendo conectar cualquier dispositivo WiFi a uno de los equipos consiguiendo formar parte de la red.

En el diseño del Proyecto actual la asociación se realiza a través de un AP (Access Point) que toma el rol de maestro y el resto de la agrupación de esclavos, conectándose todos los esclavos al maestro de forma independiente (siguiendo topología en estrella).

Para que se realice la asociación de los puntos de acceso, todos deben tener configurado el mismo canal. Es interesante variar el canal entre unas agrupaciones y otras en función de la cercanía de los dispositivos de dichas agrupaciones para evitar solapamientos.

5.9. Presupuesto del Proyecto

El presupuesto es una parte fundamental de todo proyecto, puesto que será un factor determinante en la viabilidad de su desarrollo real.

Cuando el proyecto se fundamenta en la instalación de equipamiento e implementación de ciertos servicios en instalaciones concretas toma especial importancia el factor económico, puesto que la persona o entidad que encarga el proyecto puede no disponer de capital suficiente para llevarlo a cabo, o simplemente puede no estar dispuesto a cubrir los gastos del proyecto por obtener esos determinados servicios que inicialmente se había pensado implementar.

En el Proyecto actual se proporciona el presupuesto económico base derivado del equipamiento a implementar; sin incorporar gastos de personal, herramientas y recursos, es decir, se va a obtener el presupuesto del equipamiento a implementar. Dicho presupuesto se puede contemplar en la Tabla 13. Evidentemente, el precio del equipamiento es variable dependiendo de la cantidad de equipos que se adquieran y de las condiciones acordadas con el proveedor que los suministre, pero el presupuesto mostrado en este Proyecto es muy representativo.

Sistema de comunicaciones para una planta fotovoltaica

Tabla 13. Presupuesto económico del equipamiento del sistema de comunicaciones.

Fabricante	Modelo	Descripción	Precio unitario	Cantidad	Total
Alvarion	XTRM-BS-1DIV (BreezeMAX Extreme 5000)	Estación Base WiMAX	7300 €	1	7300 €
Alvarion	ANT,BS,4.9-90V,FLAT	Antena WiMAX	420 €	1	420 €
Alvarion	XTRM-SU-OD-1D-4.9-6-A (BreezeMAX Extreme 5000 CPE)	Suscriptora WiMAX	360 €	8	2880 €
Alvarion	AC/DC SP POE Indoor	Inyector PoE	120 €	1	120 €
Alvarion	XTRM-SU-IDU-1D	Inyector PoE	30 €	8	240 €
Alvarion	XTRM-CBL-BS-POE-30	Cableado – 30m	100 €	1	100 €
Alvarion	CBL-BB/10	Cableado – 10m	40 €	8	320 €
Alvarion	AC Power cord EU	Cableado	10 €	9	90 €
Ubiquiti	PicoStation2	Punto Acceso WiFi	55 €	25	1375 €
Moxa	NPORT 5130	Conversor IP/Serie	100 €	25	2500 €
Satel	OWA 21I ETH	Datalogger	250 €	11	2750 €
Cisco	SFE2000 24port 10/100 Ethernet	Switch	300 €	1	300 €
Moxa	EDS-205	Switch	80 €	9	720 €
Cisco	861-K9	Router	250 €	1	250 €
-	Ethernet Cat. 5e	Cableado			320 €
TOTAL					19685 €

Como se puede observar en el presupuesto anterior, se necesitaría 19685 € aproximadamente para comprar el equipamiento para llevar a cabo el Proyecto, pero evidentemente a esta cifra se deberían añadir otros gastos, como por ejemplo el gasto en recursos y personal.

Al escoger este equipamiento se ha evitado realizar un gasto adicional en la adquisición de licencias para la utilización de las bandas de frecuencia de WiMAX, puesto que se ha escogido equipamiento que trabaja en banda libre.

Se ha estimado un número aproximado de cables con sus medidas para las interconexiones por Ethernet de equipos. Se ha contemplado en el presupuesto más cables de los necesarios por si se necesitase conectar algún equipo más o como recambios.

Capítulo 6.

Simulación y

modificaciones

En los diseños de sistemas de comunicaciones basados en tecnología inalámbrica, es muy importante realizar alguna simulación, aunque sea de forma orientativa. Son muy diferentes a los diseños cableados, puesto que en los radioenlaces la transmisión se realiza de forma no guiada, por un medio abierto como es el caso del aire.

Es cierto que en las redes cableadas también hay diversos factores que pueden influir en el correcto funcionamiento de los enlaces, siendo los más habituales la degradación de la señal en la transmisión a causa de la distancia y la aparición de interferencias de origen externo. Por tanto, se podrían realizar simulaciones para determinar los efectos de estos factores.

En el caso de los radioenlaces, los dos factores mencionados toman especial importancia. El aire es un medio en el que las pérdidas son proporcionales a la distancia y a la frecuencia pudiendo registrarse una degradación muy alta con la distancia (sobre todo si se trabaja a frecuencias altas), y la transmisión es más susceptible de sufrir interferencias debido a que es un medio de acceso libre (aunque se regule legalmente) y difícilmente aislable.

Hay otro factor fundamental en los radioenlaces [43] que puede afectar de forma nefasta en las comunicaciones, la aparición de obstáculos en las trayectorias de transmisión que afecten o incluso imposibiliten la comunicación. Para ello es determinante contemplar y respetar en la medida de lo posible la primera zona de Fresnel.

En este apartado se realiza una simulación del enlace WiMAX entre dos puntos de la planta, teniendo en cuenta el equipamiento que se podría utilizar, la distancia y el perfil del terreno. La aplicación utilizada para la simulación [39] está desarrollada por el propio fabricante del equipamiento utilizado, Alvarion, y sirve para estimar radioenlaces y ayudar en la selección de dispositivos y emplazamiento de los mismos sobre el terreno. Se podrían utilizar otras herramientas de simulación, disponibles incluso en dispositivos móviles [38].

Para la estimación de los enlaces, y teniendo en cuenta que el terreno es bastante uniforme, nos valdrá con una única simulación, aunque se podría hacer para cada radioenlace de la planta. Con la finalidad de que sea lo más representativo posible para asegurar un correcto funcionamiento, se realizará la simulación del enlace que se encuentra a mayor distancia, coincidiendo con que ese radioenlace se establecerá atravesando parte de la planta, y el perfil del terreno es muy representativo con el resto de los enlaces. El enlace simulado es el que se establece entre el Centro de Control y el CT 8. La distancia de separación entre ambos puntos es de 630 metros aproximadamente.

Para realizar la simulación se puede introducir las coordenadas de los puntos del radioenlace o seleccionarlos físicamente en una vista aérea del terreno proporcionada en la aplicación (como se puede visualizar en la figura Fig. 29).



Fig. 29. Vista aérea de la situación de los puntos del radioenlace simulado.

Una vez seleccionados los extremos del radioenlace se selecciona la altura de las antenas para realizar la simulación, y se obtiene, como se puede observar en la figura Fig. 30, una recreación del perfil real del terreno aproximando la trayectoria de la comunicación y señalando la zona de Fresnel, que conviene respetar.

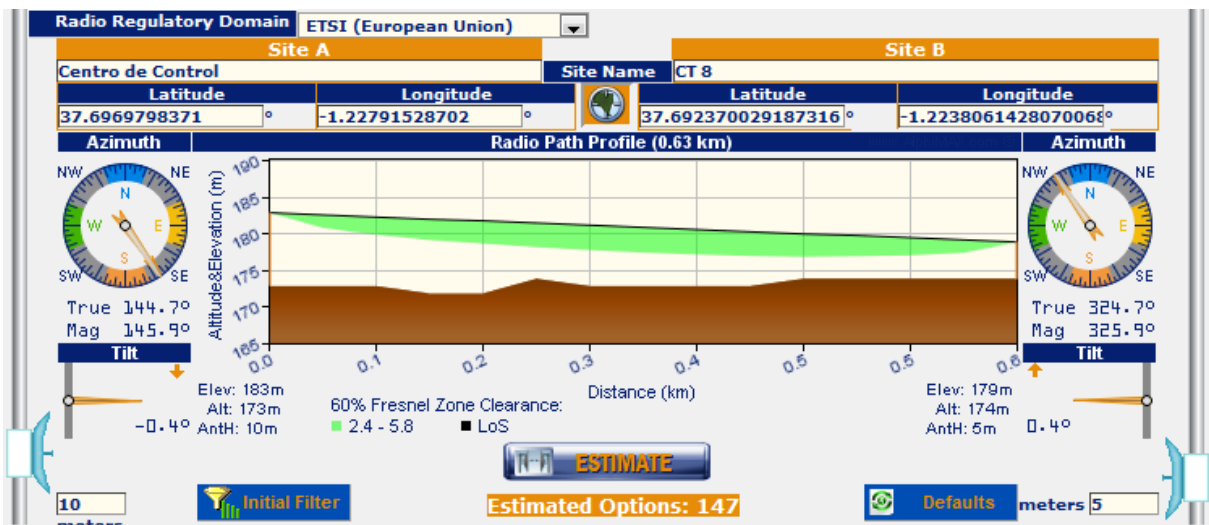


Fig. 30. Simulación del radioenlace entre el CC y el CT8 (simulador de Alvarion).

En la simulación realizada se ha tenido especialmente cuidado de respetar la zona de Fresnel, incluso evitando que la invadan otras construcciones de la planta (dejando una distancia de margen).

Con este tipo de simuladores, si el perfil del terreno invade la zona de Fresnel parcialmente, el programa avisa de que el sistema tiene limitaciones y calcula las pérdidas que sufre la transmisión. Dependiendo de la obstaculización de la zona de Fresnel (tanto de la parte del trayecto en la que se produzca, como de la cantidad de zona invadida) puede degradarse la transmisión o llegar incluso a no establecerse el vínculo. En estos casos el simulador suele recomendar una altura mínima a la que no se produce la invasión de la zona de Fresnel.

Debemos tener en cuenta que como se quiere emitir en banda libre, se deberá utilizar la banda de 5,4 GHz ó la de 5,8 GHz, trabajando en el caso actual a esta última.

Al realizar la simulación obtenemos el balance de enlace expresado en la Tabla 14.

Tabla 14. Resultados obtenidos de la Simulación del radioenlace.

RESULTADO DE LA SIMULACIÓN	
Pérdidas de espacio libre	103,7 dB
Margen del enlace	38,8 dB
Ganancia del sistema	142,5 dB

Realmente, las pérdidas de espacio libre se podrían calcular teóricamente basándose en la fórmula de Friis [43]:

$$L_{bf}[dB] = 32,45 + 20 \log f[MHz] + 20 \log d[km]$$

siendo f la frecuencia de trabajo y d la distancia del radioenlace.

A partir del valor anterior se obtiene el margen del enlace mediante la siguiente ecuación:

$$M[dB] = P_t[dB] + G_t[dBi] - L_{bf}[dB] + G_r[dBi] - S[dB]$$

Siendo P_t la potencia máxima transmitida, G_t la ganancia de la antena transmisora, G_r la ganancia de la antena receptora, y S la sensibilidad del receptor.

Si el análisis se realiza con los cálculos anteriores habrá que tener especial cuidado con la primera zona de Fresnel para obtener un resultado coherente.

Se puede observar que el margen obtenido para el enlace simulado es muy elevado estableciéndose un enlace robusto y fiable. También se podría conseguir un enlace robusto con equipamiento de menor potencia, puesto que con el empleado se podría extender el enlace a una distancia mayor, pero precisamente ese hecho proporciona flexibilidad al diseño pudiéndose ampliar la planta sin apenas necesidad de modificar el sistema de comunicaciones. Además, se garantiza de esta manera que el enlace se mantendrá con una velocidad y seguridad óptima a pesar de la influencia de efectos externos y la aparición de interferencias originadas por otros dispositivos (tanto externos como internos a la planta).

Capítulo 7.

Conclusiones y líneas futuras

7.1. Conclusiones

Las energías renovables están adquiriendo gran importancia con el paso del tiempo y está incrementando su utilización en la vida cotidiana. Este fenómeno está suponiendo una gran proliferación de plantas solares, tanto térmicas como fotovoltaicas. Este Proyecto se basa en una planta solar fotovoltaica para abastecimiento de grandes áreas geográficas.

En las plantas energéticas es muy importante la implementación de un sistema de comunicaciones adecuado, necesario para monitorizar el correcto funcionamiento del equipamiento y la producción de la planta. También posibilita el control de cierto equipamiento de planta de forma remota.

La planta planificada para el Proyecto generará una potencia de 9 MWp, gracias a sus 89640 módulos solares. En esta planta se necesitaba un sistema de comunicaciones robusto y flexible, que cubriese prácticamente la totalidad de los 194027 m² de terreno que comprende, para monitorizar la planta y para controlar parte del equipamiento eléctrico de forma remota. Esto implicaba la necesidad de comunicar los distintos puntos de la planta en los que se realizasen captaciones de señales y se encontrasen los dispositivos a controlar.

Para definir la topología de la red que se necesitaba se ha estudiado la estructura, tanto física como eléctrica, de la planta obteniendo los puntos que necesitaban acceso a la red. Se han analizado detalladamente varias soluciones tecnológicas comparándolas entre sí y examinando sus ventajas y desventajas. Finalmente se ha optado por una solución inalámbrica combinada de tecnología WiFi y WiMAX que consiste en la utilización de una estación base y 8 suscriptoras para la parte de WiMAX y de 25 puntos de acceso para la parte de WiFi, descartando las soluciones cableadas para el diseño.

Se ha seleccionado el emplazamiento adecuado para instalar los dispositivos de comunicaciones y se ha diseñado el esquema de conexión entre dichos dispositivos y su integración con el equipamiento de captación de señales y con el equipamiento eléctrico.

Para posibilitar la implementación del diseño, se ha seleccionado el equipamiento conveniente en función de sus características y se han aproximado los modos de funcionamiento de los dispositivos inalámbricos. Se han realizado simulaciones de uno de los radioenlaces para asegurar el correcto funcionamiento del sistema y unos niveles teóricos adecuados en la transmisión.

Finalmente, se ha calculado el importe económico del equipamiento de comunicaciones obteniendo la cifra de 19685 € y se ha plasmado en el documento actual todo el proceso de diseño facilitando detalles importantes de la implementación real del sistema.

7.2. Líneas futuras

En un futuro próximo se pueden realizar diversas ampliaciones y mejoras en el diseño del sistema de comunicaciones. Cabe destacar la implementación de servicios basados en VoIP, que permitan la comunicación entre los operarios en el interior de la planta y, por supuesto, también con el exterior.

Otro servicio interesante que se podría incorporar es el de grabación de vídeo, para obtener un control visual de la planta y del entorno, y controlar las posibles intrusiones de personas ajenas a las instalaciones.

Para los servicios comentados sería imprescindible implementar QoS (*Quality of Service*) que ya de por sí es una mejora por priorizar el tráfico en caso de sobrecarga, permitiendo dar prioridad a los parámetros importantes de la planta y al telecontrol.

A medida que van surgiendo nuevas necesidades en planta, se manifiestan carencias en el sistema de comunicaciones que se podrán compensar con la implementación de nuevos servicios e incorporación de equipamiento adicional de comunicaciones. Debido a este fenómeno de evolución de las energías renovables y su producción, aparecerán posibles mejoras constantemente, y siempre con total dependencia de las necesidades y requerimientos del modo de producción de energía y de los operarios de planta.

Referencias

- [1] Directiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre de 2001, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de electricidad, 27 de octubre de 2001.
- [2] Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE, 5 de junio de 2009.
- [3] Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible. Boletín Oficial del Estado, 5 de marzo de 2011.
- [4] Enciclopedia web de contenido libre: Concepto de irradiancia.
[<http://es.wikipedia.org/wiki/Irradiancia>]
- [5] Sistema de información geográfica PVGIS, mapas interactivos de la Instalación Europea de Pruebas Solares [<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>].
European Solar Test Installation, ESTI [<http://re.jrc.ec.europa.eu/esti/>].
- [6] Portal sobre energía solar: Módulos solares [<http://www.portalsolar.com/energia-solar-celdas-solares.html>]
- [7] Enciclopedia web de contenido libre: Centro de Transformación
[http://es.wikipedia.org/wiki/Centro_de_Transformaci%C3%B3n]
- [8] Artículos sobre electricidad: Transformador de intensidad toroidal [<http://electricidad-viatger.blogspot.com.es/2008/05/la-medida-de-intensidad-de-corriente-en.html>]
- [9] Wi-Fi Alliance [<http://www.wi-fi.org>]
- [10] IEEE 802.11 [<http://www.ieee802.org/11/>]
- [11] Enciclopedia web de contenido libre: Generaciones del estándar 802.11
[http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11]
- [12] Enciclopedia web de contenido libre: Estándar 802.11b
[http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11b-1999]
- [13] Enciclopedia web de contenido libre: Espectro ensanchado por secuencia directa
[http://en.wikipedia.org/wiki/Direct-sequence_spread_spectrum]
- [14] Enciclopedia web de contenido libre: Estándar 802.11^a
[http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11a-1999]
- [15] Artículos y tutoriales sobre móviles: Codificación OFDM
[<http://mobiledevdesign.com/tutorials/ofdm/>]

- [16] Enciclopedia web de contenido libre: Estándar 802.11g
[http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11g-2003]
- [17] Enciclopedia web de contenido libre: Estándar 802.11n
[http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11n-2009]
- [18] Enciclopedia web de contenido libre: Tecnología WiMAX
[http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_WiMAX#Mobile_WiMAX]
- [19] IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee, especificación estándar IEEE 802.16
[<http://www.ieee802.org/16/>]
- [20] Noticias y artículos sobre tecnología: Generaciones WiMAX
[<http://wikitel.info/wiki/WiMAX>]
- [21] Noticias y Artículos sobre WiMAX: Concepto de interoperabilidad
[<http://albentia.wordpress.com/2008/08/30/interoperabilidad-que-es/>]
- [22] Wi-MAX Forum [<http://www.wimaxforum.org>]
- [23] Axis Communications, concepto de Calidad de Servicio
[http://www.axis.com/es/products/video/about_networkvideo/qos.htm]
- [24] Introducción a los sistemas de multiples antenas. TAC (2007-08). UAM
[http://arantxa.ii.uam.es/~tac/Documentacion/Tema_V_Introduccion_Sistemas_Multiples_Antenas_ver0.pdf]
- [25] Sede Electrónica del Catastro del gobierno español
[<https://www1.sedecatastro.gob.es/OVCFrames.aspx?TIPO=CONSULTA>]
- [26] Artículos y tutoriales sobre electrónica: cable Ethernet
[<http://www.electronica-basica.com/cable-ethernet.html>]
- [27] Herramientas web para la enseñanza de protocolos de comunicación: fibra óptica. ETSI Informática, Universidad de Málaga
[<http://neo.lcc.uma.es/evirtual/cdd/tutorial/fisico/fibra.html>]
- [28] Equipamiento BreezeMAX Extreme 5000 de Alvarion [<http://www.alvarion.com/products/product-portfolio/breezemax-extreme/breezemax-extreme-5000>]
- [29] Equipamiento Picostation2 de Ubiquiti [<http://www.ubnt.com/picostation>]
- [30] Equipamiento Moxa EDS-205 [<http://www.moxa.com/product/eds-208205.htm>]
- [31] Enciclopedia web de contenido libre: Alimentación sobre Ethernet
[http://es.wikipedia.org/wiki/Power_over_Ethernet]

- [32] Enciclopedia web de contenido libre: Controlador lógico programable
[http://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_l%C3%B3gico_programable]
- [33] Equipamiento OWA21I ETH de Satel
[<http://www.satelspain.com/products/Owasys.asp>]
- [34] Artículos sobre pantallas electrónicas LED: Bus serie RS-485
[<http://www.pantallas-electronicas.es/index.php/es/maes-lejos-con-rs485.html>]
- [35] Equipamiento Moxa NPORT 5130 [http://www.moxa.com/product/nport_5130.htm]
- [36] Equipamiento Cisco 861 [<http://www.cisco.com/en/US/products/ps9555/index.html>]
- [37] Equipamiento Cisco SFE2000
[<http://www.cisco.com/en/US/products/ps9980/index.html>]
- [38] Simulador de Zona de Fresnel [<http://www.infosatelite.net/>]
- [39] Simulador de radioenlaces de Alvarion, Partner Tools (con cuenta de consultor).
[<https://partners.alvarion.com>]
- [40] Página web dedicada a redes WiMAX: Utilización de bandas
[<http://redeswimax.jimdo.com/wimax/uso-del-espectro/uso-libre-o-con-licencia/>]
- [41] Recomendación UIT-R M.1652-1. Selección dinámica de frecuencias en sistemas de acceso inalámbrico, incluidas las redes radioeléctricas de área local, para proteger el servicio de radiodeterminación en la banda de 5 GHz, Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra, Suiza, 2011.
- [42] Noticias y artículos sobre tecnología: Utilización de canales WiFi
[<http://www.xatakaon.com/optimizacion-del-adsl/que-son-los-canales-wi-fi-y-como-escoger-el-mejor-para-nuestra-red>]
- [43] José María Hernando Rábanos. Transmisión por Radio. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces S.A. 2008.